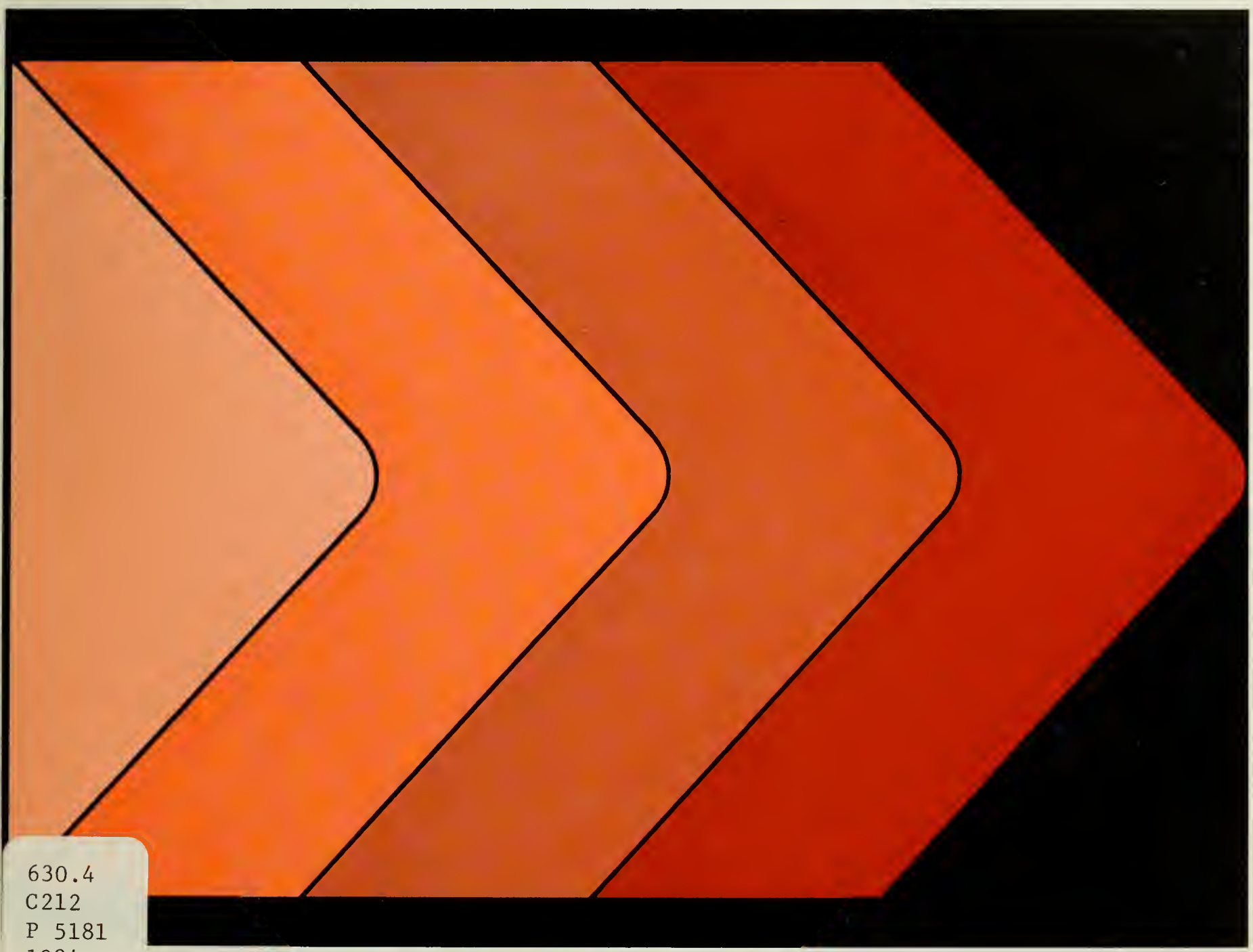
La récupération de la chaleur dans l'industrie des aliments et des boissons

Agriculture Canada

Publication 5181 F



630.4
C212
P 5181
1984
fr.
c.3

Canada

Digitized by the Internet Archive
in 2011 with funding from
Agriculture and Agri-Food Canada – Agriculture et Agroalimentaire Canada

http://www.archive.org/details/larcuprationdela00otta

La récupération de la chaleur dans des aliments et des boissons

Direction générale de la production
et de l'inspection des aliments

Direction générale de la commercialisation
et de l'économie

PUBLICATION 5181F, on peut obtenir des exemplaires à la Direction générale des communications, Agriculture Canada, Ottawa K1A 0C7

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1984
N° de cat. A15—5181/1984F ISBN: 0-662-92652-8
Impression 1984 0.75M—9:84

Also available in English under the title
Heat recovery for Canadian food and beverage industries

AVANT-PROPOS

Cette publication est un recueil d'idées et de renseignements qui peuvent intéresser les personnes sensibilisées à la question de l'économie de l'énergie. Il vise à éveiller l'intérêt des responsables de l'industrie des aliments et boissons pour la technologie de la récupération de l'énergie par les échangeurs de chaleur. Des renseignements plus spécifiques sont disponibles et on aura avantage à solliciter l'avis d'ingénieurs compétents avant de modifier les installations ou les méthodes de production existantes.

La publication est le fruit d'un travail commun founi par les Directions générales de la production et de l'inspection des aliments, de la commercialisation et de l'économie, et de la recherche d'Agriculture Canada. Elle a été rendue possible grâce à l'appui financier du Programme de recherche et de développement énergétiques dans l'agro-alimentaire (RDEAA), un programme d'impartition d'Agriculture Canada. Le programme RDEAA tente de susciter l'intérêt des secteurs autres que gouvernementaux par l'octroi des contrats de recherche et de développement en énergie. Il représente la participation d'Agriculture Canada aux travaux de recherche du programme énergétique national (PEN) et aux responsabilités qui s'y rattachent. Le programme RDEAA est administré à Ottawa sous l'autorité du Directeur général — Instituts (Direction générale de la recherche).

Toute question se rapportant au programme RDEAA doit être adressée à :

M. M. Feldman
Gestionnaire, Programme RDEAA
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
Immeuble Arboretum
Ferme expérimentale centrale
Ottawa
K1A 0C6

Les auteurs désirent remercier tous ceux qui ont contribué à cette publication, principalement les sociétés qui ont accepté d'être citées en exemples dans les études de cas.

Le Gouvernement du Canada et l'administration gouvernementale ne donnent aucune garantie, expresse ou implicite, et n'assument aucune responsabilité quant à la viabilité des méthodes décrites dans le présent document. La publication de ce guide ne constitue aucunement une validation du contenu par le gouvernement fédéral.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ / 4

INTRODUCTION / 6
QU'ENTEND-ON PAR CHALEUR PERDUE? / 6
QU'ENTEND-ON PAR RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR? / 6
QU'EST-CE QU'UN ÉCHANGEUR THERMIQUE? / 6
CARACTÉRISTIQUES D'UN ÉCHANGEUR THERMIQUE / 7
FACTEURS À CONSIDÉRER DANS LE CHOIX D'UN ÉCHANGEUR THERMIQUE / 7

TYPES FONDAMENTAUX D'ÉCHANGEURS THERMIQUES / 8
— Échangeur thermique à plateaux / 8
— Échangeur thermique à calandre / 9
— Échangeur thermique à tubes à ailettes / 9
— Échangeur thermique à spirales / 10
— Échangeur thermique coaxial / 10
— Échangeur thermique à lames raclantes / 11
— Régénérateur à roue thermique, ou rotatif / 12
— Caloduc / 12

TYPES PARTICULIERS D'ÉCHANGEURS THERMIQUES / 14
— Économiseur / 14
— Chaudière-récupératrice / 14
— Préchauffeur d'air de combustion / 15
— Préchauffeur d'air à plateaux parallèles / 16
— Système de dérivation / 16

POMPE À CHALEUR / 17
EMMAGASINAGE D'ÉNERGIE THERMIQUE / 17
ENCRASSEMENT / 17
GIVRE / 17
SYSTÈMES DE SÉCURITÉ ET COMMANDE / 18
RÈGLEMENTS, CODES ET NORMES / 18

PROFILS DE LA QUANTITÉ DE CHALEUR RÉCUPÉRABLE PAR SECTEUR INDUSTRIEL / 18
— Viandes rouges / 19
— Volaille / 19
— Fruits et légumes / 19
— Produits laitiers / 20
— Biscuiteries et boulangeries / 20
— Oeufs / 20

ANALYSE FINANCIÈRE DES INVESTISSEMENTS EN MATÉRIEL DE RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR / 20
— Les étapes de l'analyse financière / 21

ÉTUDES DE CAS / 22
Étude de cas n° 1 — Cuiseurs de fondoirs / 22
Étude de cas n° 2 — Gaz de combustion / 25
Étude de cas n° 3 — Désurchauffeur et échaudoir — Transformation de la volaille / 26
Étude de cas n° 4 — Brûleur des soies — Abattoir porcin / 27
Étude de cas n° 5 — Transformation des fruits et légumes / 28
Étude de cas n° 6 — Four de boulangerie / 29

CONCLUSION / 30
— Les possibilités de récupération de la chaleur / 30

RÉSUMÉ

Les procédés de transformation des aliments et des boissons entraînent souvent le rejet dans l'atmosphère ou dans les eaux usées d'une certaine quantité d'énergie. Aujourd'hui, en raison des coûts élevés de l'énergie, une des méthodes les plus efficaces pour en réduire la consommation serait de réutiliser la chaleur autrement perdue. On entend par chaleur perdue celle qui est contenue dans un fluide rejeté par un procédé de fabrication, et dont la température est supérieure à la température ambiante de l'usine. Le recours à la chaleur perdue offre plusieurs avantages que d'autres sources d'énergie n'ont pas : la chaleur se trouve déjà sur place, elle est disponible pendant que l'usine est en fonctionnement, on peut diminuer la pollution thermique de l'environnement et en arriver à se passer de refroidisseurs.

Pour qu'il soit pertinent de récupérer la chaleur, il faut d'abord qu'on fasse usage dans l'usine d'effluents à température moins élevée ou de procédés susceptibles d'utiliser la chaleur récupérée. D'autres facteurs sont également importants : quantité de chaleur perdue et fréquence des pertes de chaleur, facilité et coûts d'installation et d'entretien du système de récupération requis.

La méthode la plus efficace pour récupérer la chaleur serait de relancer dans le système le fluide caloporteur une fois débarrassé de ses impuretés; on pourrait ainsi récupérer presque 100 % de la chaleur perdue. Cependant, cette méthode est souvent inapplicable et il faut installer un appareil de récupération de la chaleur, un ÉCHANGEUR THERMIQUE. L'échangeur thermique ne met pas en contact direct le fluide caloporteur et le fluide à réchauffer mais permet à la chaleur de se transmettre de l'un à l'autre sans qu'ils se mélangent, à travers les cloisons qui les séparent. C'est la différence de température entre les deux fluides qui rend la chose possible.

Quand, en situation de déperdition de chaleur, on envisage d'installer un appareil pour récupérer cette chaleur, un certain nombre de facteurs déterminent la faisabilité technique et financière du projet et sont à prendre en considération.

Il faut d'abord bien connaître les caractéristiques des fluides caloporteurs et des procédés susceptibles de devenir récepteurs de la chaleur récupérée. Il faut connaître entre autres :

— Les températures moyennes des fluides et leurs variations de température;
— Le débit des fluides mis en circulation;
— Le moment et la durée de mise en circulation des fluides;
— Le degré d'éloignement entre la source et le récepteur de chaleur;
— Les caractéristiques des fluides (coefficient de viscosité, nature des saletés et des impuretés qu'ils contiennent, critères de propreté et de pureté qu'ils doivent respecter).

On doit également mesurer les caractéristiques opérationnelles principales des systèmes de récupération :

— La capacité opérationnelle maximale et moyenne d'échange de chaleur;
— La capacité rentable minimale;
— Les pressions et leur étendue de variation;
— Le besoin d'un système de secours ou de remplacement en cas d'arrêt du fonctionnement, soit de la source de chaleur, soit de l'échangeur thermique, ou encore du système récepteur de chaleur;
— La nécessité de nettoyer les fluides à l'entrée et à la sortie de l'échangeur thermique;
— La facilité, la fréquence et la rapidité de mise en marche, de ralentissement ou d'arrêt complet du système;
— Le fonctionnement des systèmes de commande et de surveillance;
— Les conséquences sur d'autres systèmes, telle une diminution de l'usage des appareils de chauffage ou des chaudières;
— Le potentiel d'emmagasinage de l'énergie thermique.

Ces connaissances permettront de choisir l'équipement approprié à la situation et de prévoir les coûts de son installation ainsi que celle des raccords avec les autres systèmes de même qu'avec les appareils de commande et de contrôle. Si la situation est simple, l'installation d'un système de récupération peut se faire avec de l'outillage courant, la main-d'oeuvre de l'usine et les conseils du fournisseur de l'équipement. Si la situation est plus complexe, il est préférable de demander l'aide d'ingénieurs-conseils.

Afin de choisir un équipement de récupération de la chaleur adapté à ses besoins il est utile de connaître le nom, l'adresse et l'éventail des produits de tous les fournisseurs possibles. Les annuaires constituent un bon outil à la disposition des usagers pour les aider à repérer les fournisseurs qui connaissent bien les équipements conçus spécialement pour leur secteur industriel.

Les systèmes d'emmagasinage de l'énergie thermique permettent souvent de rendre la récupération de la chaleur avantageuse si la production de chaleur s'effectue à des moments ou à un taux différents de ceux auxquels le fluide récepteur en consomme. L'énergie thermique est habituellement emmagasinée sous forme de liquide chauffé, l'eau étant le caloporteur préféré à cause de son coût peu élevé et de sa grande chaleur spécifique.

Dans les usines de transformation des aliments et des boissons, il faut éviter la contamination des produits alimentaires et de l'eau potable utilisée dans les procédés de transformation. C'est pourquoi il est important d'envisager l'adoption de mesures de sécurité. Il faut pouvoir mettre le dispositif de récupération de la chaleur en dérivation lorsqu'il ne fonctionne pas normalement, de façon à ce que les activités de l'usine puissent tout de même se poursuivre. Les exigences imposées par les lois et règlements qui régissent la transformation des aliments contiennent une règle générale : si l'échangeur de chaleur doit entrer en contact avec de l'eau potable ou un produit alimentaire, il doit être fait d'un matériau non absorbant qui résiste à la corrosion, qui puisse être désinfecté et nettoyé souvent, mais ne puisse contaminer l'eau ou les aliments, ni leur transmettre de substances toxiques, d'odeurs ou de goûts.

La quantité de chaleur perdue dans une usine varie largement d'un secteur à l'autre dans l'industrie alimentaire, en raison de la diversité des procédés utilisés et des différences dans les quantités d'énergie requise. Il existe également d'importantes différences dans les pertes de chaleur d'un type d'usine à l'autre à l'intérieur d'un même secteur. Les écarts sont imputables à des facteurs comme : la concentration du produit, le fonctionnement en continu ou par lots, la taille et l'emplacement de l'usine. La quantité réelle de chaleur perdue, potentiellement utilisable, ne peut être déterminée que par une étude approfondie de la situation énergétique de l'usine. Aucun secteur de la transformation des aliments n'est exclu des bénéfices potentiels de la récupération de la chaleur, chacun présentant ses possibilités propres.

L'examen du matériel et des diverses possibilités qui s'offrent à lui permet au transformateur d'aliments d'évaluer la faisabilité technique de la récupération de la chaleur et de choisir l'équipement le mieux adapté à sa situation. La décision importante qu'il doit ensuite prendre est de déterminer si le projet est financièrement avantageux.

L'évaluation financière du projet permet de déterminer s'il fera économiser de l'argent à l'entreprise et s'il augmentera ses profits. Le système de récupération de la chaleur devrait faire économiser de l'argent à l'entreprise au coût actuel de l'énergie, et toute augmentation de ce coût devrait faire augmenter ce rendement financier. La faisabilité technique d'un projet ne le rend pas obligatoirement viable du point de vue financier. Plusieurs facteurs peuvent multiplier ou au contraire ruiner les chances de profiter d'un investissement tel que l'installation d'un échangeur thermique. Ils comprennent, par exemple, le coût actuel et future de l'énergie, les taux d'intérêt, l'incidence fiscale du projet et le coût en capitaux.

L'analyse financière sert à les évaluer tous. Elle met en rapport l'étude de faisabilité technique et les critères financiers qui entrent en jeu dans la prise de décision. Elle sert habituellement à résoudre les problèmes soulevés par l'évaluation des possibilités présentes d'investissement. Une telle analyse doit être menée de façon à permettre aux décideurs d'évaluer les conséquences de tout changement de situation sur la décision qui sera prise. Une étude de sensibilité peut alors être faite en modifiant les hypothèses afin de déterminer les effets qu'elles ont, individuellement ou collectivement, sur les conclusions. On peut ainsi évaluer les risques et les incertitudes reliés au projet.

Il existe plusieurs occasions d'investir dans des équipements de récupération de la chaleur, qui peuvent réclamer soit des petites sommes, soit de plus importantes. Dans tous les cas, après une analyse technique et financière bien menée, on pourra déterminer si la période de récupération simple et le taux de rendement interne rencontrent les critères d'investissement de l'entreprise concernée. Dans le rapport qui suit, des études de cas ont été faites, qui montrent les bénéfices réalisés par certaines firmes canadiennes de transformation des aliments ayant investi dans ce genre d'équipement.

Le potentiel de récupération de la chaleur a été évalué dans un rapport pour Énergie, Mines et Ressources Canada. Ce rapport indique que 12,5 % de l'énergie totale consommée par le secteur des aliments et des boissons pourrait pratiquement être récupérée grâce aux techniques actuelles de récupération de la chaleur. Étant donné les avantages considérables qu'on peut retirer de la récupération de l'énergie thermique dans l'industrie des aliments et des boissons, il est avantageux d'évaluer les applications de la technologie dans ce domaine. Cette évaluation doit porter à la fois sur les aspects techniques et économiques de la question et permettre de comparer l'investissement dans cette technologie à d'autres types d'investissement.

INTRODUCTION

La transformation des aliments et des boissons entraîne souvent le rejet d'une certaine quantité d'énergie dans l'atmosphère ou dans les eaux usées. Autrefois, cette décharge de l'énergie excédentaire dans les drains, les égouts, les bouches d'aération et les cheminées se faisait aisément et était économique. Maintenant, principalement en raison des coûts élevés de l'énergie, le secteur de la transformation des aliments et des boissons étudie soigneusement les diverses sources d'économie mises à sa disposition par les procédés de conservation de l'énergie. Une des méthodes les plus efficaces pour réduire la consommation d'énergie est de réutiliser la chaleur autrement perdue.

QU'ENTEND-ON PAR CHALEUR PERDUE?

On entend par chaleur perdue celle qui est contenue dans un fluide rejeté par un procédé de fabrication et dont la température est supérieure à la température ambiante de l'usine. Les fluides dont la température est inférieure à la température ambiante renferment eux aussi une forme d'énergie perdue réutilisable, à des fins de refroidissement par exemple.

Les sources de déperdition de chaleur sont nombreuses dans le secteur de la transformation des aliments. Les méthodes de cuisson, de distillation, de pasteurisation et d'aération en sont toutes ainsi que les systèmes de réfrigération. Il en va de même pour l'eau chaude qui est souvent rejetée à l'égout après un seul usage.

QU'ENTEND-ON PAR RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR?

La récupération de la chaleur suppose que la chaleur autrement perdue soit transférée à un autre support (l'air ou l'eau, par exemple) pour servir ultérieurement. La faisabilité de récupérer la chaleur perdue dépend de l'existence dans l'usine d'effluents à température moins élevée ou de procédés pouvant effectivement utiliser la chaleur récupérée. Elle dépend aussi de la quantité de chaleur mise en disponibilité (température, débit, fréquence), de la facilité d'installation et d'entretien du système de récupération et de son coût. La récupération de la chaleur sert généralement au réchauffement ou au refroidissement des fluides utilisés dans les procédés de transformation ou autres : par exemple, le réchauffement de l'eau d'alimentation des chaudières, le réchauffement préalable de l'eau de nettoyage, le réchauffement ou le refroidissement préalables du produit à traiter, le réchauffement ou le refroidissement de l'air amené par le système de ventilation.

Le recours à la chaleur perdue offre des avantages que d'autres sources d'énergie n'ont pas, car cette chaleur existe déjà dans l'usine et est disponible pendant que celle-ci fonctionne; ce recours peut diminuer la gravité des problèmes de pollution thermique de l'environnement et éliminer le besoin d'installer des refroidisseurs.

QU'EST-CE QU'UN ÉCHANGEUR THERMIQUE?

La méthode la plus efficace pour récupérer la chaleur consiste à débarrasser le fluide caloporteur de ses impuretés et à le relancer dans le circuit; de cette façon, on peut récupérer presque 100 % de la chaleur perdue. Cependant, cette méthode est souvent inapplicable; il faut alors installer un équipement de récupération de la chaleur, un ÉCHANGEUR THERMIQUE.

Un échangeur thermique est un appareil qui, sans mélanger le fluide caloporteur avec le fluide à réchauffer, permet à la chaleur de se transmettre de l'un à l'autre à travers la paroi qui les sépare. C'est la différence de température entre les deux fluides qui rend la chose possible.

Il peut y avoir plusieurs raisons qui obligent à éviter le mélange des deux fluides. Il peut être nécessaire :

— d'éviter que l'un des fluides ne contamine l'autre. Ceci est particulièrement important dans la transformation des aliments, surtout lorsqu'il y a risque de contamination de l'eau potable servant à un procédé de transformation ou de préparation de l'aliment lui-même;
— de pallier une différence de pression entre les deux fluides.

Il pourra aussi exister des situations où l'usage d'un troisième fluide sera nécessaire, par exemple lorsqu'il faudra transporter la chaleur récupérée sur une longue distance, comme dans le cas où la source et le récepteur sont éloignés l'un de l'autre.

CARACTÉRISTIQUES D'UN ÉCHANGEUR THERMIQUE

Il existe plusieurs types d'échangeurs thermiques et tous ont des caractéristiques différentes. Pour récupérer l'énergie contenue dans les fluides caloporteurs, il existe trois catégories d'échangeurs thermiques : les échangeurs où les deux fluides sont à l'état liquide, les échangeurs où les deux fluides sont à l'état gazeux, les échangeurs où l'un des deux fluides est à l'état gazeux et l'autre à l'état liquide.

Les deux fluides dans l'échangeur thermique peuvent circuler parallèlement et dans la même direction (échangeurs à courants parallèles de même sens), ou circuler à contre-courant (échangeurs à courants parallèles opposés), ou encore circuler à angle droit l'un par rapport à l'autre (échangeurs à courants croisés). La circulation peut aussi être à parcours unique ou à parcours multiple (c'est-à-dire que le fluide chauffant passe une ou plusieurs fois sur la surface d'échange).

FACTEURS À CONSIDÉRER DANS LE CHOIX D'UN ÉCHANGEUR THERMIQUE

Lorsque, en situation de déperdition, on envisage d'installer un équipement de récupération de la chaleur, il faut prendre en considération un certain nombre de facteurs qui déterminent la faisabilité technique et financière du projet.

Il faut d'abord bien connaître les caractéristiques des fluides caloporteurs et des procédés susceptibles de devenir récepteurs de la chaleur récupérée. Il faut connaître entre autres :

— Les variations de température des fluides et leurs températures moyennes;
— Les débits des fluides mis en circulation;
— Le moment et la durée de la mise en circulation des fluides;
— Le degré d'éloignement entre la source et le récepteur de chaleur;
— Les caractéristiques des fluides, telles le coefficent de viscosité, la nature des saletés et des impuretés qu'ils contiennent ainsi que les critères de propreté et de pureté qu'ils doivent rencontrer.

On doit également évaluer les caractéristiques opérationnelles essentielles des systèmes de récupération et des échangeurs thermiques, soit :

— La capacité opérationnelle maximale et moyenne d'échange de la chaleur;
— La capacité rentable minimale;
— Les pressions et l'étendue de leurs variations;
— Le besoin d'un système de secours ou de remplacement en cas d'arrêt, soit de la source de chaleur, soit de l'échangeur thermique, soit du système récepteur de chaleur, pour évacuer ou, au contraire, engendrer la chaleur nécessaire;
— La nécessité de nettoyer les fluides à l'entrée et à la sortie de l'échangeur thermique;
— La facilité, la fréquence et la rapidité de mise en marche, de ralentissement ou d'arrêt complet du fonctionnement du système;
— Le fonctionnement approprié des systèmes de commande et de surveillance;
— Les conséquences sur d'autres systèmes, telles une diminution de l'utilisation des appareils de chauffage et des chaudières;
— Le potentiel d'emmagasinage de l'énergie thermique.

Cette étude préliminaire permettra de choisir correctement l'équipement de récupération adapté à une situation donnée, de calculer les coûts de son installation et des raccords à établir avec les autres appareils de même qu'avec les appareils de commande et de contrôle. Dans les cas simples, l'installation d'un équipement de récupération peut se faire avec de l'outillage courant, la main-d'oeuvre de l'usine et les conseils des fournisseurs. Lorsque la situation est plus complexe ou l'usine plus grande, il est recommandable de demander l'aide d'ingénieurs-conseils.

Lors du choix d'un équipement approprié pour récupérer la chaleur, il peut être utile de connaître le nom, l'adresse et l'éventail des produits des différents fournisseurs possibles. Les annuaires sont un bon outil actuellement à la disposition des usagers pour les aider à choisir les fournisseurs qui connaissent bien les équipements conçus pour leur secteur industriel. Il existe deux excellents annuaires :

1) *Annuaire canadien 1983 des produits de conservation de l'énergie et des fournisseurs*. Cet annuaire est publié par EMR et on peut se le procurer au :

Sous-secteur des économies d'énergie et des substitus du pétrole
Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources
580, rue Booth
Ottawa
K1A 0E4

ou à n'importe quel bureau de la conservation et des énergies renouvelables.

2) *1983 Buyer's Directory. Food in Canada*. Vol. 43, N° 10, octobre 1983.

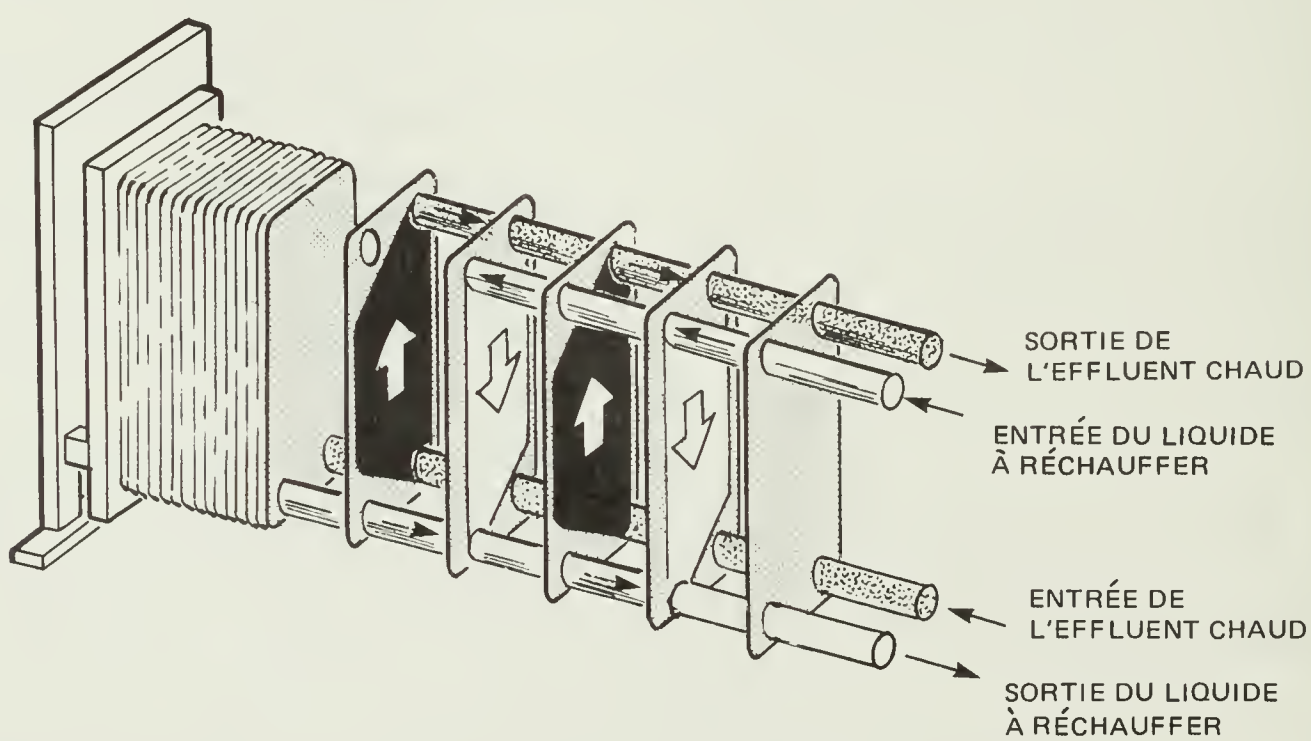
On peut se procurer ce guide à l'adresse suivante :
Food in Canada
Maclean Hunter Ltd.
Maclean Hunter Building
777, rue Bay
Toronto (Ontario)
M5G 2C8

TYPES FONDAMENTAUX D'ÉCHANGEURS THERMIQUES

Voici une brève description des types d'échangeurs thermiques les plus communément utilisés pour la récupération de la chaleur dans le secteur de la transformation des aliments et des boissons.

Échangeur thermique à plateaux ou à plateaux et cadre

Cet échangeur, à deux fluides liquides ou à deux fluides gazeux, est constitué de deux tirants auxquels sont fixées des plaques de métal à ondulations, en nombre variable. Un écart est maintenu entre les plateaux et leur étanchéité est assurée par un joint prévenant fuites et mélanges. Les deux fluides coulent généralement à contre-courant dans des canaux parallèles situés entre les plateaux. Les ondulations du métal favorisent la turbulence du milieu et accroissent la superficie d'échange de la chaleur augmentant ainsi l'efficacité de la transmission.



1. Échangeur thermique à plateaux

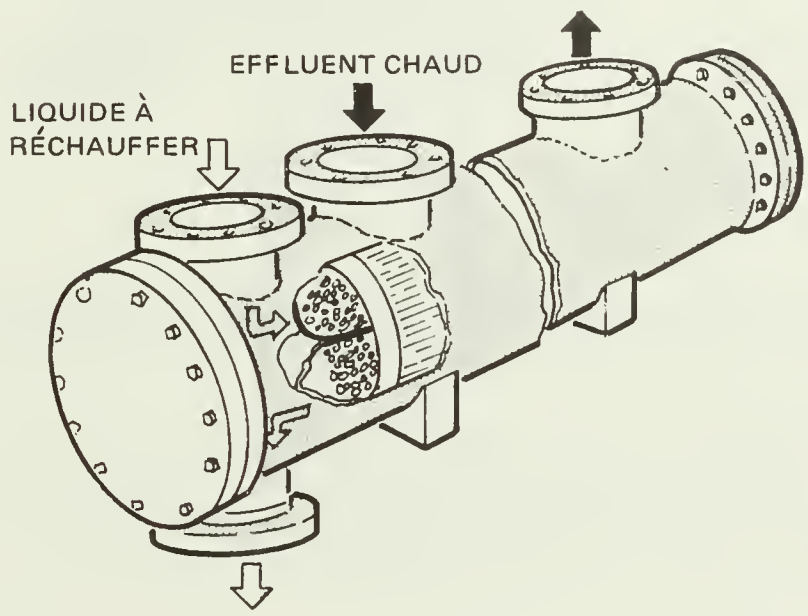
L'échangeur à plateaux est le plus simple et le plus facile à inspecter et à nettoyer car les surfaces d'échange sont facilement accessibles. L'échangeur à plateaux se nettoie facilement par le procédé de nettoyage en place (CIP). Pour toutes ces raisons, il constitue souvent un bon choix lorsqu'on traite directement un produit alimentaire ou de l'eau potable. Il est généralement employé pour les liquides contenant moins de 5 % de solides ou des particules d'un diamètre inférieur à 1 mm.

Les pasteurisateurs qui sont en usage dans le secteur de la transformation du lait ou des oeufs, par exemple, sont munis d'un élément de récupération qui est un échangeur thermique à plateaux à fluides liquides et dans lequel le produit chaud qui sort du pasteurisateur est refroidi par le produit froid qui y entre et se trouve ainsi légèrement réchauffé. L'économie d'énergie est substantielle car les besoins de chauffage et de refroidissement sont comblés simultanément.

Parmi les applications particulières de l'échangeur thermique à plateaux, signalons le préchauffage de l'eau des chaudières avec des effluents d'eau chaude, le préchauffage de l'eau d'un échaudoir avec le trop-plein du même appareil, ou le chauffage de l'eau potable avec l'eau rejetée d'un blancheur à légumes.

Échangeur thermique à calandre

Cet échangeur, à fluides liquides ou à fluides gazeux et liquide, est constitué d'un faisceau de petits tubes parallèles contenus dans une enveloppe cylindrique.



2. Échangeur thermique à calandre

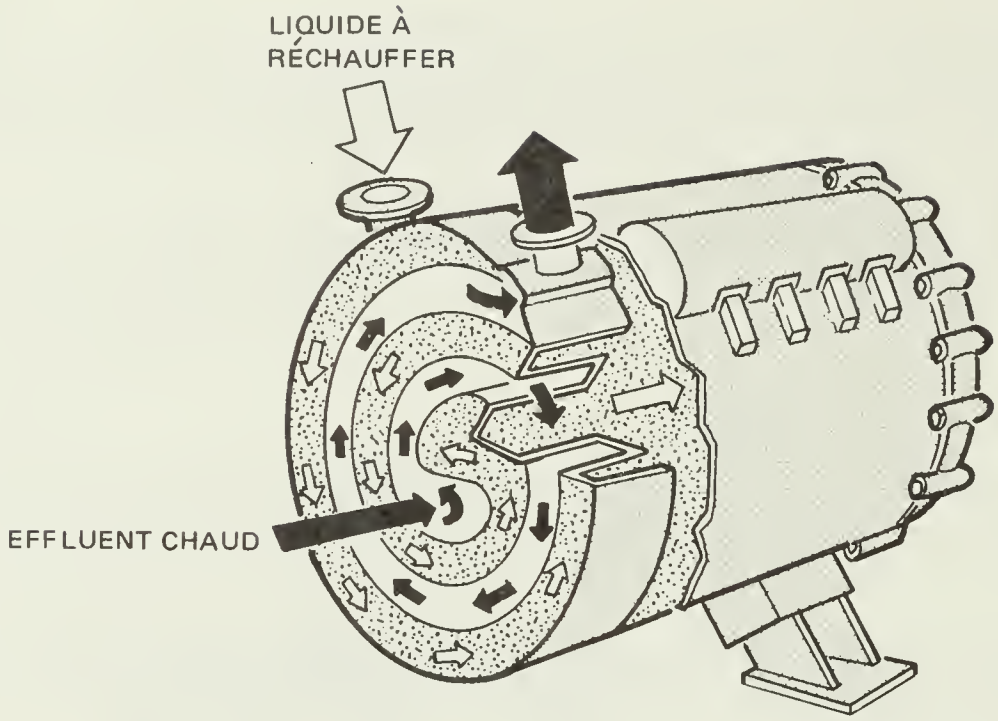
Un des fluides coule à travers les tubes et l'autre à travers l'enveloppe au-dessus du faisceau de tubes. Lorsqu'on emploie une vapeur caloporteuse pour réchauffer un liquide, elle circule à travers l'enveloppe, pendant que le liquide à réchauffer circule dans les tubes. Le faisceau de tubes étant amovible, le nettoyage de l'échangeur s'en trouve facilité, bien que les tubes eux-mêmes demeurent difficiles à nettoyer. Ce type d'échangeur sert, le plus souvent, dans des opérations ne s'appliquant pas directement à un produit alimentaire, car l'enveloppe et les tubes peuvent être difficiles à inspecter. Il est limité au traitement de solutions à faible teneur en solides. Quelques-unes des applications possibles sont le chauffage de l'eau à l'aide de la vapeur provenant des cuiseurs de fondoirs, ou encore, le chauffage de l'eau qui entre dans un échaudoir à l'aide du trop-plein de l'échaudoir.

Échangeur thermique à tubes à ailettes

Cet échangeur, type échanges gaz/liquide, est constitué d'un faisceau de tubes dans lequel circule le liquide à réchauffer et au-dessus duquel s'écoulent des gaz d'échappement caloporteurs. Des ailettes fixées aux tubes augmentent la surface d'échange. C'est un échangeur qui sert à chauffer l'eau à toutes sortes de fins, comme l'eau d'alimentation des chaudières ou l'eau de nettoyage (voir Économiseur).

Échangeur thermique à spirales

Cet échangeur est constitué de deux longues bandes de métal plates enroulées concentriquement de façon à former deux spirales étanches et distinctes.



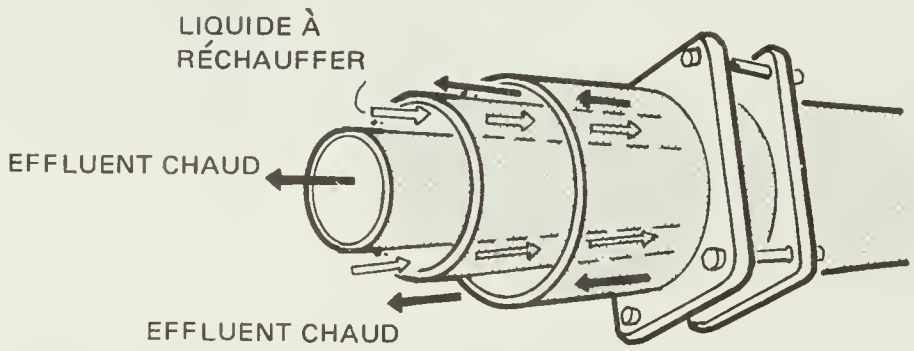
3. Échangeur thermique à spirales

Ses avantages, comparativement à ceux de l'échangeur à calandre, comprennent compacité, exigences d'entretien moins grandes, accessibilité facilitant l'inspection et le nettoyage, et tendance plus faible à l'encrassement.

Les échangeurs de ce type sont fréquemment utilisés dans le traitement de l'eau de refroidissement usée et ils se révèlent également efficaces dans la récupération de la chaleur dégagée par des vapeurs à pression atmosphérique. Un échangeur à spirales peut, par exemple, servir à condenser la vapeur à pression atmosphérique provenant de cuiseurs ouverts, pour chauffer l'eau de nettoyage de l'usine.

Échangeur thermique coaxial

L'échangeur coaxial, à fluides liquides, ou gazeux et liquide, est constitué de deux ou trois tubes concentriques qui s'emboîtent. Le fluide caloporteur ou de refroidissement circule à travers le tube interne, le produit à chauffer ou à refroidir circule dans le deuxième tube et, si l'appareil comporte un troisième tube, le fluide caloporteur ou de refroidissement coule dans le tube externe.

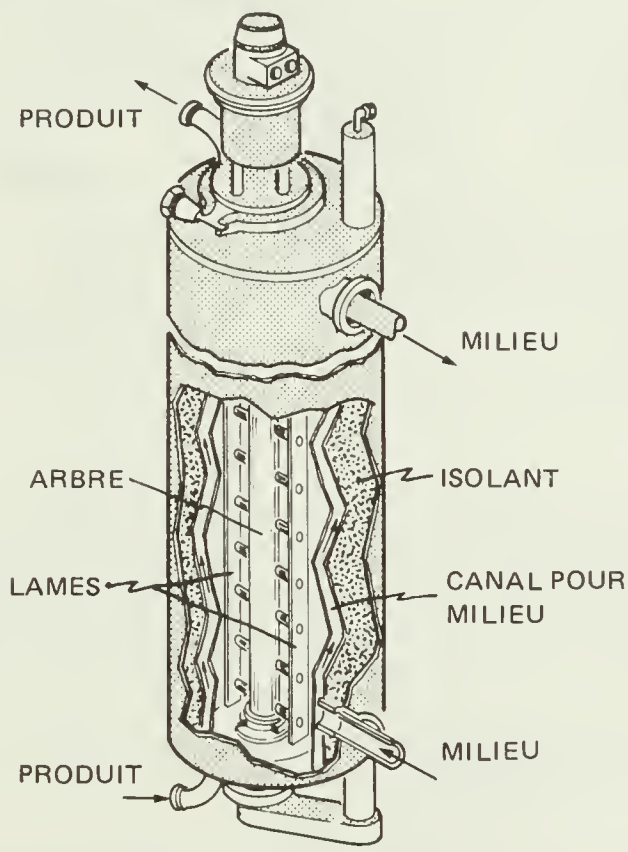


4. Échangeur thermique coaxial

Les échangeurs de ce type doivent être entièrement démontés quand il s'agit de repérer une fuite ou d'enlever les dépôts qui s'y sont formés; il peut être difficile de les maintenir en bon état, mais il est possible de les nettoyer sans les démonter. Ce sont des échangeur particulièrement indiqués pour les liquides visqueux ou pour les liquides ayant un contenu en matières particulaires pouvant aller jusqu'à un pourcentage de 40 %.

Échangeur thermique à lames raclantes

L'échangeur à lames raclantes est formé d'un arbre rotatif de lames montées concentriquement à l'intérieur d'un tube isolé et enveloppé. Le produit circule à travers le tube interne où, constamment, les lames l'agitent en même temps qu'elles raclent les parois du tube pour le nettoyer. Le fluide, caloporteur ou de refroidissement, circule dans l'espace annulaire entre le cylindre de transmission de chaleur et le tube externe qui est isolé.

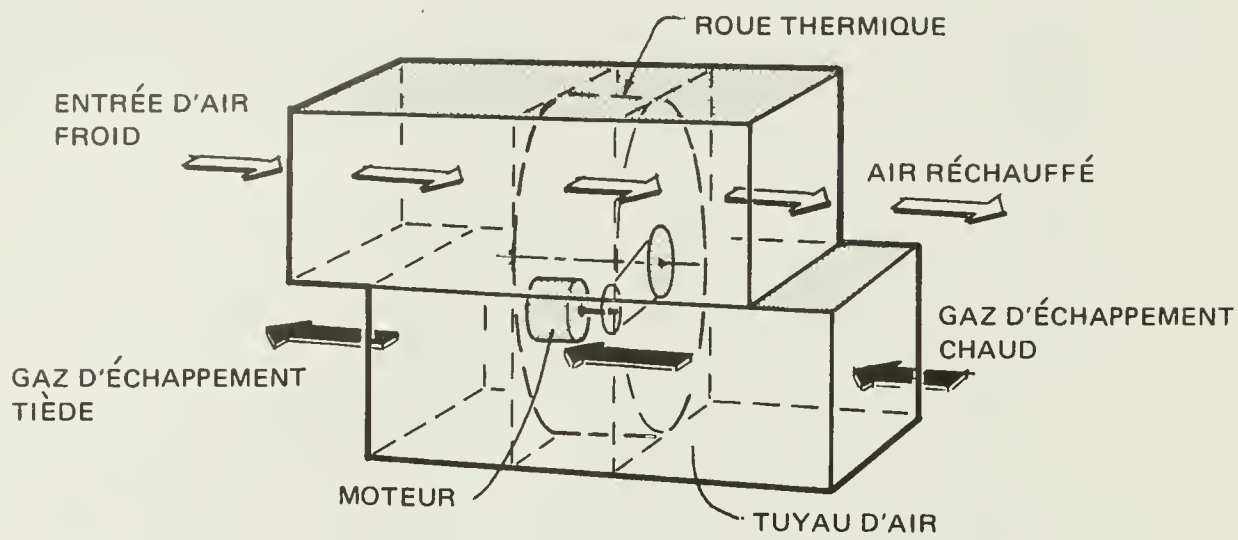


5. Échangeur thermique à lames raclantes

Les échangeurs à lames raclantes sont conçus pour les produits à haut degré d'encrassement et pour les opérations de cristallisation. Ils peuvent traiter des produits contenant jusqu'à 75 % de matières particulaires. Lorsqu'ils sont montés à la verticale, il est facile d'abaisser l'assemblage rotor/lames à des fins d'inspection et de nettoyage.

Régénérateur à roue thermique, ou rotatif

Il s'agit d'un échangeur à échanges gaz/gaz constitué d'un grand disque poreux fait d'un matériau à capacité d'absorption thermique élevée (grillage en acier inoxydable, céramique, etc.). Le disque tourne entre deux conduites d'air accolées, l'une où circule l'air froid et l'autre où circule l'air chaud. La circulation s'y fait à contre-courant. Quand la roue tourne, elle absorbe d'abord la chaleur provenant du courant d'air plus chaud et l'emmagasine temporairement. Elle vient ensuite en contact avec le courant d'air froid et lui communique sa chaleur.



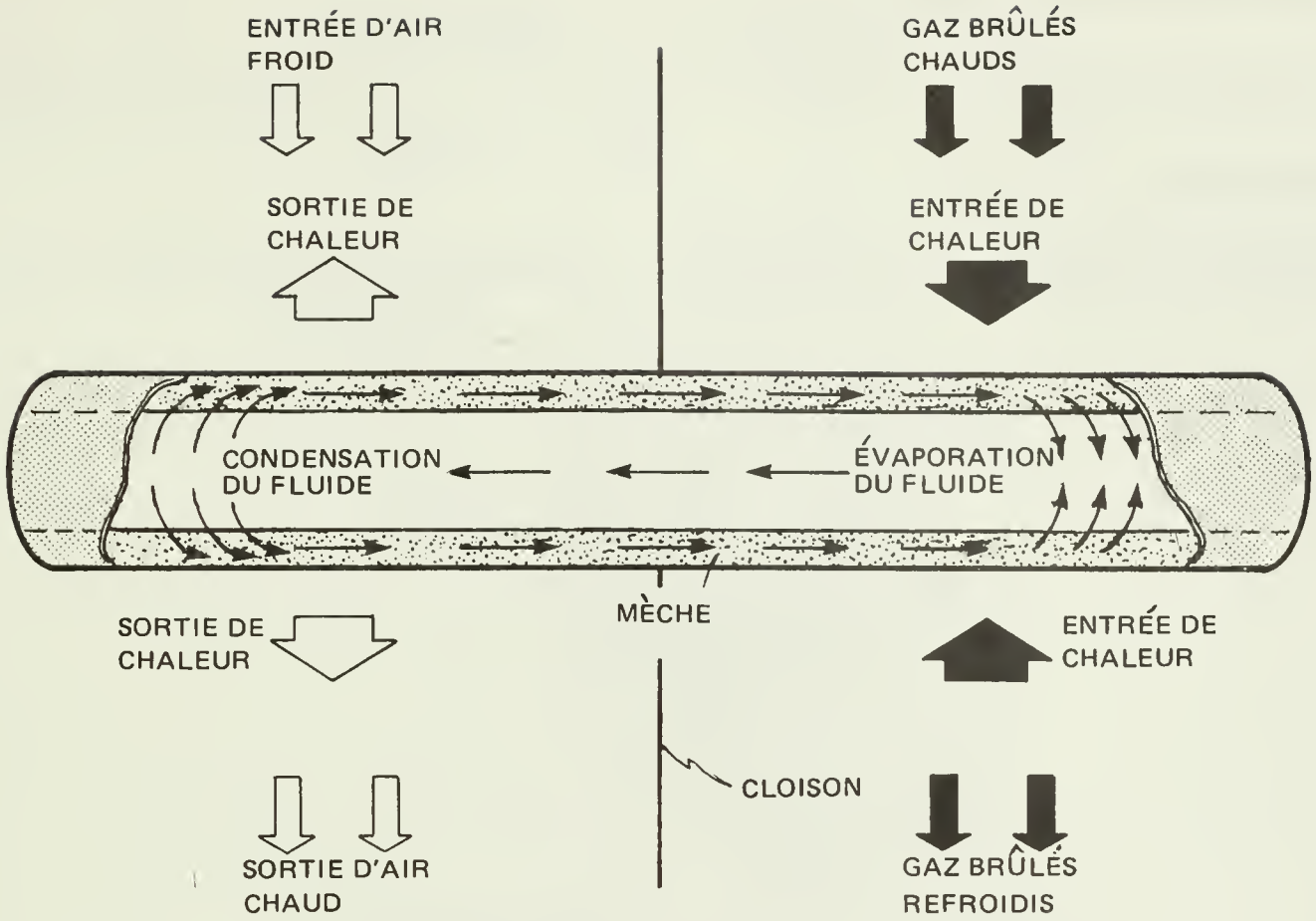
6. Régénérateur à roue thermique ou rotatif

Les applications comprennent le préchauffage de l'air du système de ventilation ou de l'air des séchoirs et des fourneaux, au moyen de l'air d'évacuation.

Caloduc

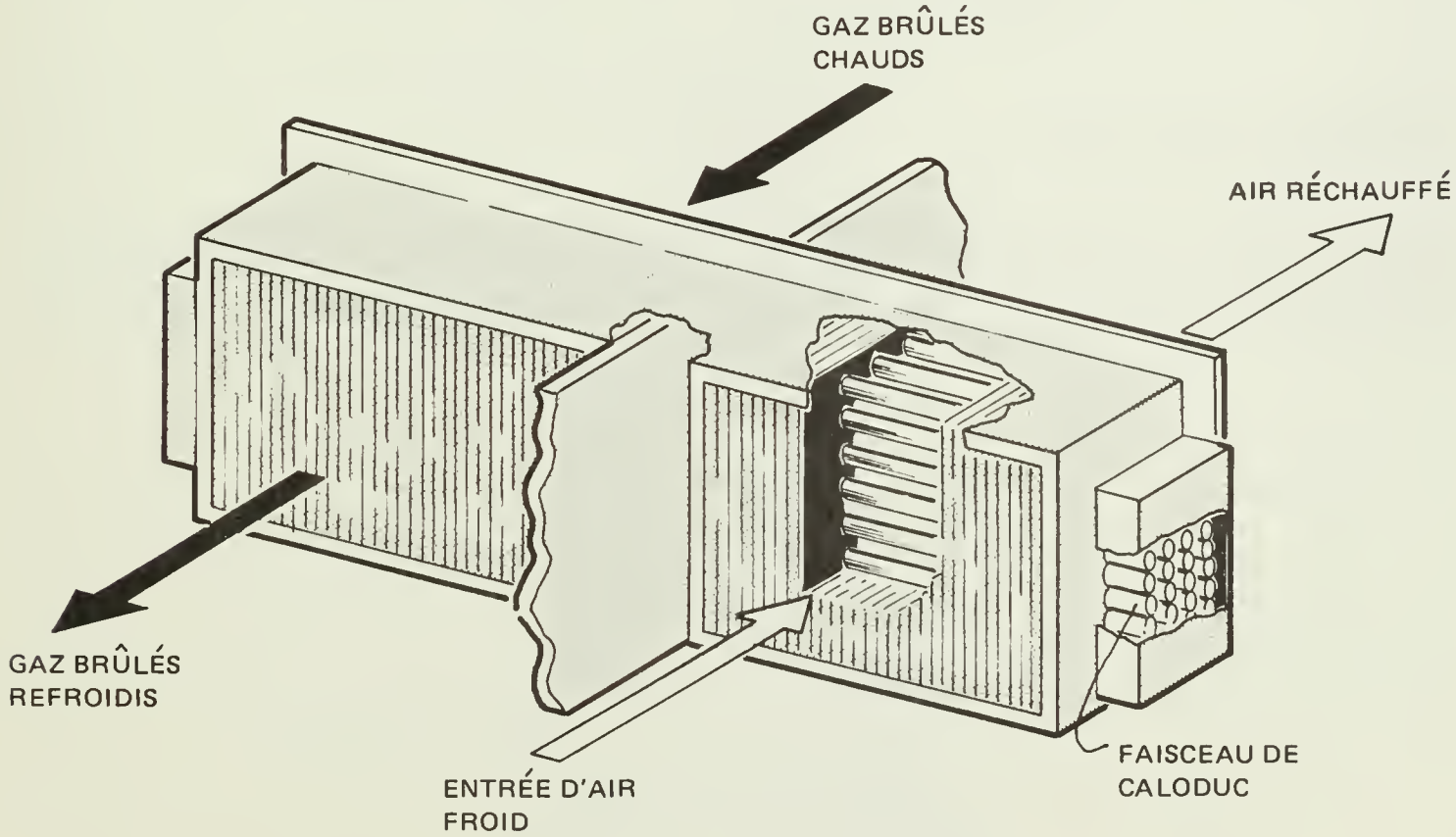
Échangeur thermique de type gaz/gaz ou gaz/liquide, le caloduc est constitué d'un tube scellé contenant un fluide caloporteur et une mèche capillaire annulaire.

La chaleur qui provient des gaz d'évacuation chauds fait se vaporiser le fluide à une extrémité du tuyau. La vapeur se déplace vers l'extrémité froide où, en se condensant, elle abandonne sa chaleur latente et réchauffe le fluide froid. Le condensat retourne ensuite, par capillarité, à l'extrémité chaude du tuyau et est ainsi recyclé perpétuellement.



7. Caloduc

Les caloducs sont généralement disposés en faisceaux, dans lesquels chaque tuyau traverse deux conduites, l'une contenant un fluide chaud et l'autre un fluide froid. Cet échangeur thermique ne permet pas de contamination par transmission. Ses applications comprennent le préchauffage de l'air pour différents types de séchoirs et de fourneaux, ainsi que le préchauffage de l'air de combustion pour les chaudières.



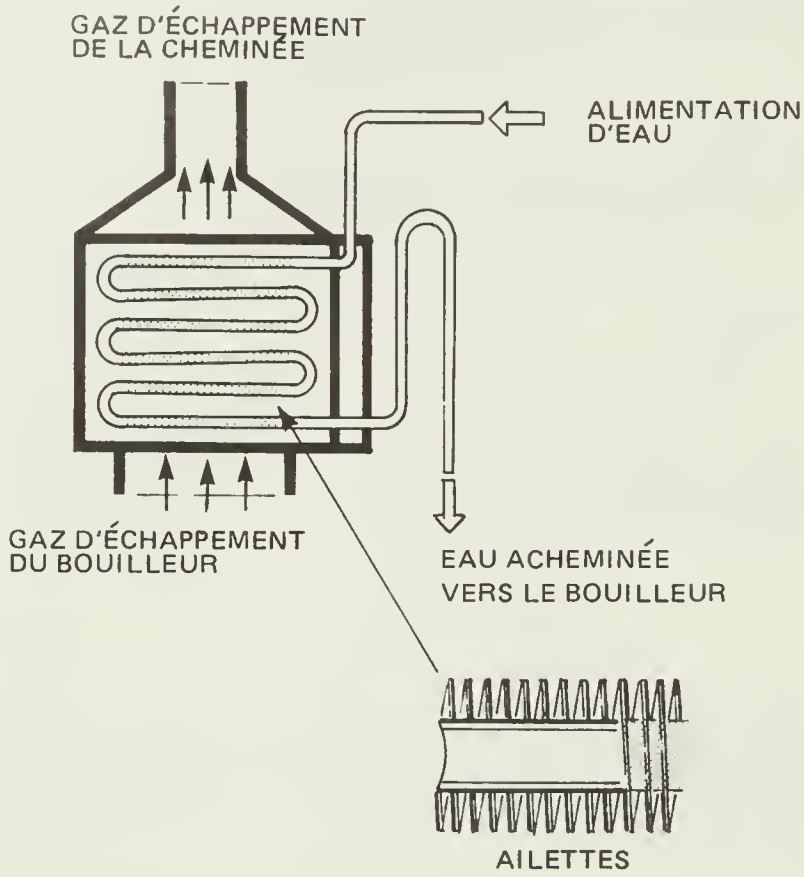
8. Échangeur thermique à caloducs

TYPES PARTICULIERS D'ÉCHANGEURS THERMIQUES

Les échangeurs thermiques que l'on vient de décrire existent aussi sous des formes plus ou moins modifiées.

Économiseur

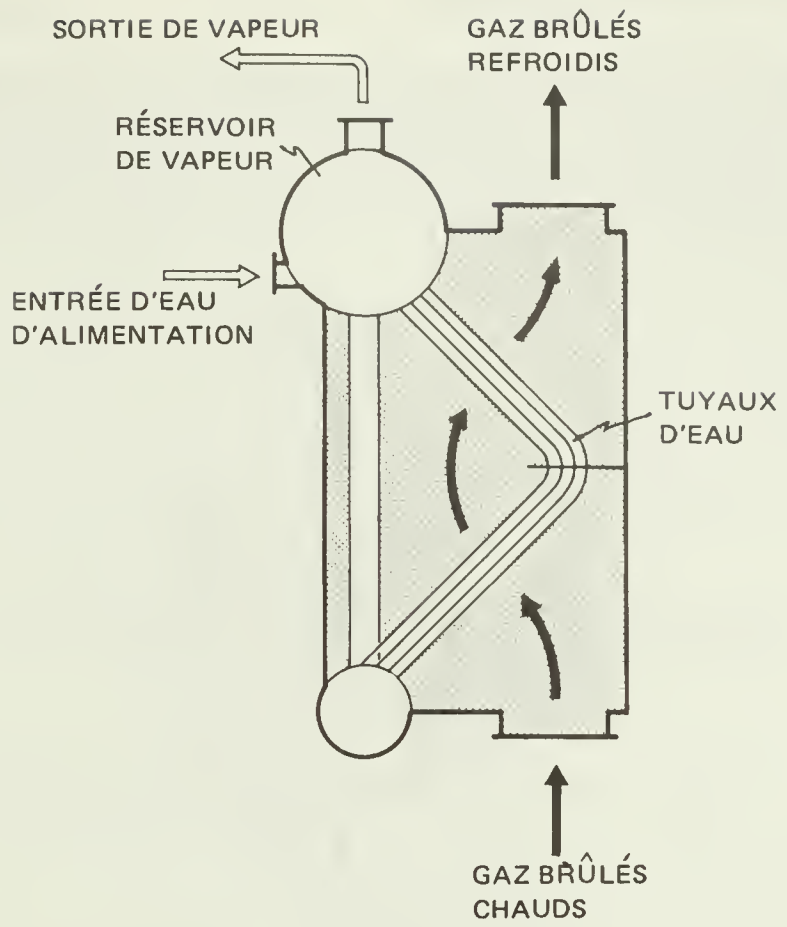
L'économiseur est un échangeur à tubes à ailettes qui transfère la chaleur récupérée des gaz de combustion à l'eau d'alimentation des chaudières.



9. Économiseur à tubes à ailettes

Chaudière-récupératrice

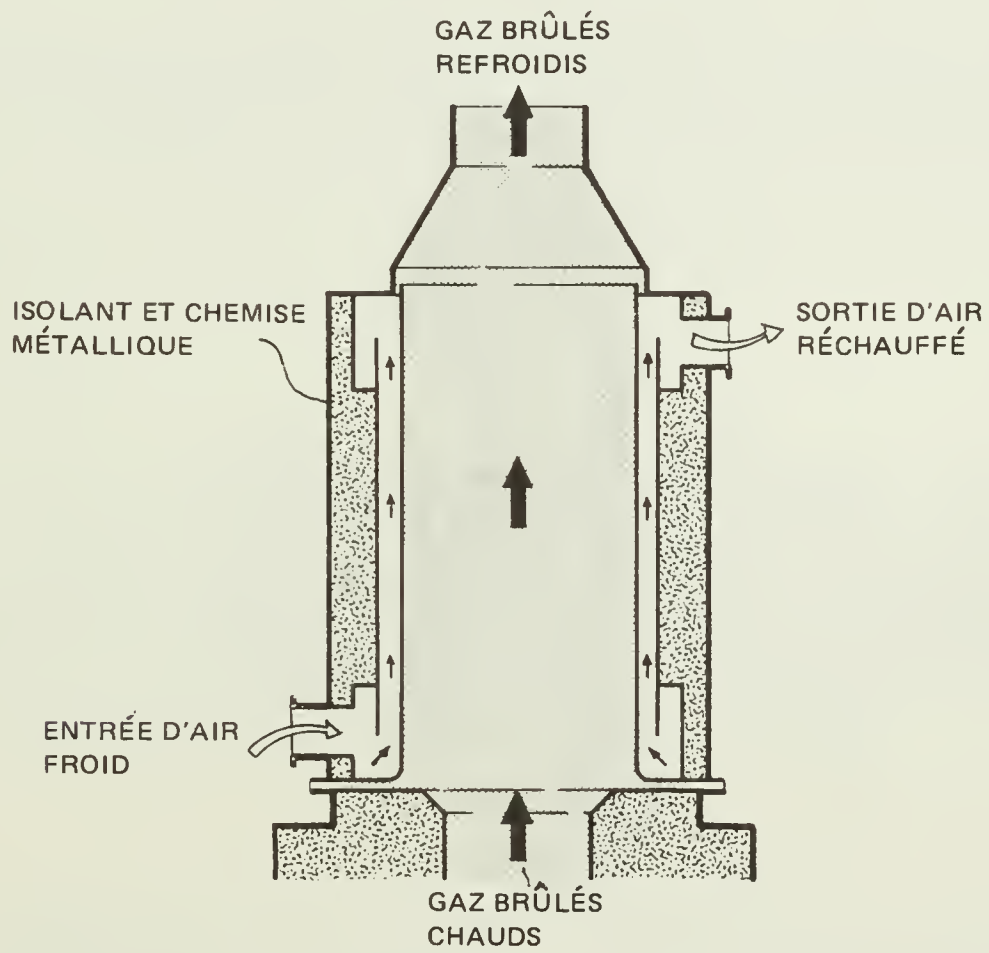
Voici un échangeur thermique dans lequel les gaz d'évacuation chauds passent au-dessus de tubes parallèles contenant de l'eau; l'eau s'évapore et la vapeur est recueillie par un collecteur d'où elle est ensuite aspirée pour servir aux procédés de transformation ou au chauffage. On peut l'utiliser pour récupérer la chaleur provenant des gaz chauds émis par les brûleurs de soies de porc.



10. Chaudière-récupératrice

Préchauffeur d'air de combustion

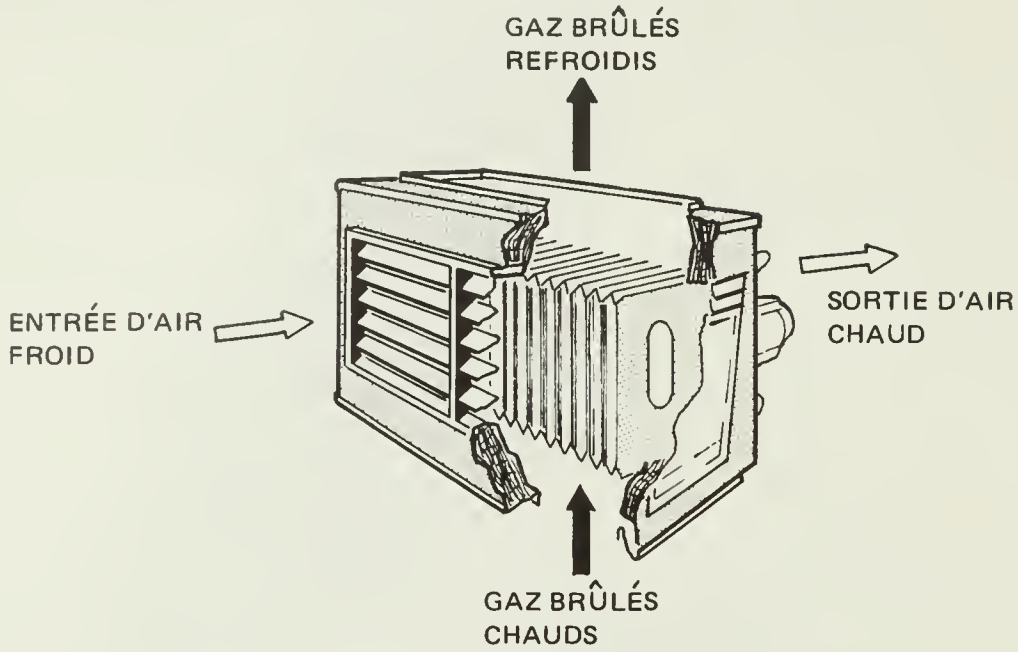
On a ici une variété d'échangeur thermique, à fluides gazeux, qui récupère la chaleur perdue provenant des gaz de combustion d'un générateur d'air chaud pour chauffer l'air d'admission destiné à la combustion.



11. Préchauffeur d'air de combustion

Préchauffeur d'air à plateaux parallèles

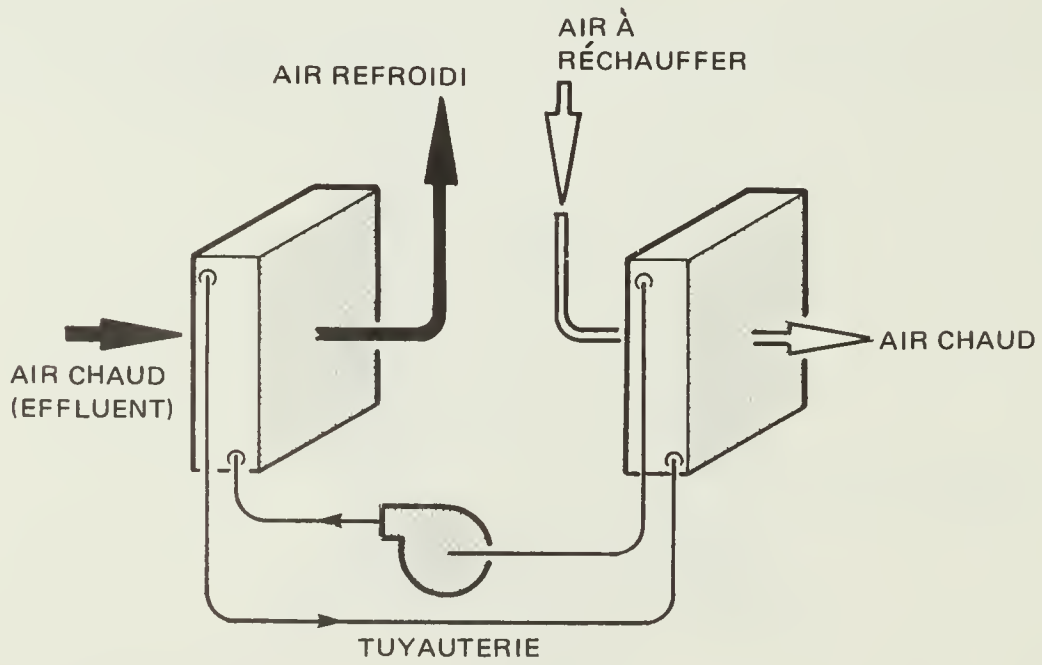
Cet échangeur est constitué d'une série de canaux dans lesquels circulent en alternance des gaz chauds et froids; seule, une mince paroi faite d'un métal conducteur sépare les gaz. S'il est scellé adéquatement, cet appareil prévient toute contamination par transmission; de plus, il est facile à entretenir et à inspecter. Ses applications comprennent la récupération de la chaleur que dégagent la cuisson, le séchage et le fumage, ainsi que les installations de chauffage et de ventilation.



12. Préchauffeur à plateaux

Système de dérivation

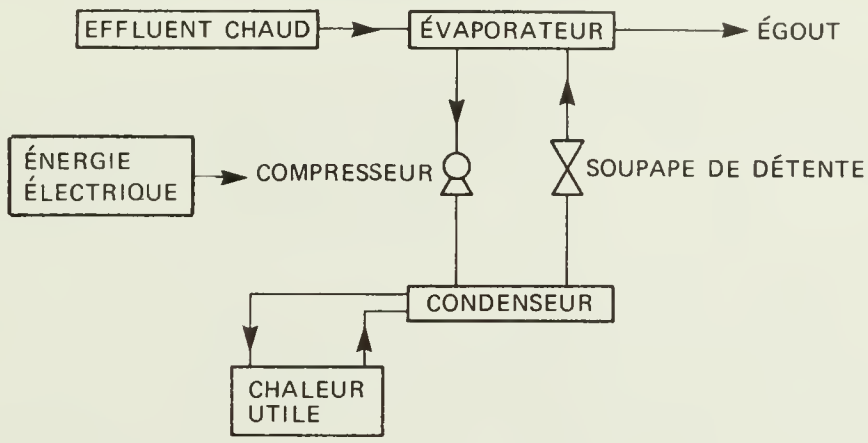
Le système de dérivation comprend un échangeur à fluides gazeux constitué d'un réseau de tubes fermé à travers lequel est pompé un fluide de transmission de chaleur (généralement du glycol). Ce fluide intermédiaire recueille la chaleur des spirales ou des tubes à ailettes installés dans le courant d'air chaud et la libère ensuite en la transmettant aux spirales du circuit d'air froid. Les fuites d'un courant d'air à l'autre sont donc impossibles. On peut utiliser cet échangeur dans les cas où la source caloporteuse et son point d'utilisation sont éloignés, ou lorsque la chaleur doit être recueillie à partir de plusieurs sources. On pourrait s'en servir, par exemple, pour recueillir la chaleur provenant de l'air d'évacuation d'un séchoir pour chauffer l'air d'admission.



13. Système de dérivation

POMPE À CHALEUR

Les échangeurs thermiques peuvent être considérés comme des dispositifs passifs, car ils ne requièrent aucune source d'énergie externe pour accomplir le transfert de chaleur. Ils dépendent plutôt d'un gradient de température pour effectuer la transmission d'une zone de grande concentration d'énergie (source de chaleur) à une zone de plus faible concentration (récepteur). Cependant, il existe des situations dans le secteur des aliments et des boissons où la température du fluide de rejet est plus basse que celle du milieu où l'on compte utiliser cette énergie. Dans de tels cas on fait usage d'un dispositif actif, soit une pompe à chaleur, pour l'échange d'énergie. Les pompes à chaleur ont besoin d'une source d'énergie extérieure pour élever la température de la chaleur récupérée. Fondamentalement, il s'agit d'un cycle de réfrigération inversé. Un liquide contenu dans un évaporateur se vaporise par l'absorption de la chaleur d'une source caloporteuse; puis la vapeur est comprimée à haute pression. À partir de là, elle se rend au condenseur où l'énergie absorbée précédemment est transmise au fluide à chauffer. Étant donné que les pompes à chaleur modernes peuvent atteindre des températures au-dessus du point d'ébulition de l'eau, elles peuvent avoir plusieurs applications, comme la génération directe de vapeur, ou le chauffage de l'eau de nettoyage.



14. Pompe à chaleur

EMMAGASINAGE D'ÉNERGIE THERMIQUE

Les systèmes d'emmagasinage d'énergie thermique peuvent souvent rendre avantageuse la récupération de la chaleur si la production de chaleur perdue et la consommation d'énergie par le fluide récepteur s'effectuent à des moments ou à un taux différents. L'emmagasinage de l'énergie thermique récupérée permet de désaccoupler la production de chaleur perdue de sa consommation. L'énergie thermique est habituellement emmagasinée sous forme de liquide chauffé, l'eau étant le médium de stockage préféré à cause de son coût peu élevé et sa grande chaleur spécifique. Par exemple, l'énergie récupérée des condenseurs d'un système de réfrigération pourrait être emmagasinée sous forme d'eau chaude dans un réservoir isolé et servir au nettoyage de l'usine plus tard durant la journée.

ENCRASSEMENT

L'encrassement se produit à la longue, par l'accumulation sur les surfaces d'échange des dépôts laissés par le passage des fluides. Il peut s'agir de résidus, de dépôts minéraux ou résultant de la corrosion chimique. Il est très important de considérer ce point pour être en mesure de choisir un échangeur thermique qui ait les dimensions appropriées car l'encrassement peut réduire considérablement la capacité de transmission de chaleur et augmenter la chute de pression. Un nettoyage et un entretien périodiques sont donc requis et, comme l'encrassement et les difficultés de nettoyage augmentent avec le temps, les nettoyages doivent être fréquents. Il faudra peut-être prévoir certains types de cloisons qui filtrent les impuretés du fluide caloporteur avant son admission dans l'échangeur afin de réduire les risques d'encrassement.

GIVRE

Dans le cas des échanges air/air, par lesquels on réchauffe l'air venant de l'extérieur, des problèmes de givre peuvent se poser en hiver. Si l'air extérieur est assez froid, la condensation sur le côté chaud de l'échangeur peut se transformer en givre et obstruer le passage de l'air. L'installation des contrôles pour le dégivrage sera nécessaire pour résoudre le problème, ce qui aura aussi pour effet de réduire l'efficacité générale du système.

SYSTÈMES DE SÉCURITÉ ET DE COMMANDE

Dans les usines de transformation des aliments, il faut éviter la contamination de l'eau potable et des produits alimentaires. C'est pourquoi il est important d'envisager l'adoption de mesures de sécurité qui mettent en dérivation le dispositif de récupération de la chaleur lorsqu'il ne fonctionne pas, de façon à ce que les opérations de transformation puissent tout de même se poursuivre. Les commandes des dispositifs de récupération de la chaleur doivent être compatibles avec les appareils qui servent à la transformation des aliments.

Avant d'être livrés à l'usine, les échangeurs thermiques subissent de nombreux tests pour déceler les fuites. Cependant, une fuite peut malgré tout se produire, par exemple à la suite de la rupture d'un joint d'étanchéité ou de fêlures dues aux contraintes. C'est pourquoi, il est recommandable d'installer des dispositifs de surveillance (comme la mesure du pH ou la détection du différentiel de pression) et de commande, là où il y a présence d'eau potable ou de produit alimentaire, afin de détecter les fuites et de prévenir la contamination. Ces indicateurs de mauvais fonctionnement du dispositif doivent être reliés au réseau qui commande les opérations de transformation et au système d'alarme, s'il y en a un.

RÈGLEMENTS, CODES ET NORMES

Il existe, dans tous les pays, un certain nombre de normes et de codes locaux ou nationaux concernant les échangeurs thermiques. Ils s'appliquent souvent et plus strictement à la conception physique qu'à la conception thermique de l'échangeur. Ces codes et réglementations visent à régulariser et à préciser les paramètres de conception, de fabrication et de fonctionnement des échangeurs thermiques et sont instaurés en vue de protéger l'intérêt public (sécurité). Cependant, codes et normes portent davantage sur des dispositifs compliqués, de grandes dimensions, fonctionnant à des pressions élevées, que sur des dispositifs plus simples comme ceux qui sont généralement en usage dans l'industrie des aliments.

En ce qui concerne les exigences imposées par les lois et règlements qui régissent la transformation des aliments, la Loi des aliments et drogues, partie 1, article 7, stipule : «Nul ne doit fabriquer, préparer, conserver, empaqueter ou emmagasiner pour la vente quelque aliment dans des conditions non hygiéniques.»

Plus spécifique à l'industrie des viandes, *Le Manuel des méthodes de l'hygiène des viandes*, chapitre 2.7, paragraphe «Équipement», précise : «Pour assurer l'hygiène des opérations, rien n'est plus important qu'un outillage de conception simple et facile à nettoyer, fait d'un matériau résistant à la corrosion et à la rouille, comme l'acier inoxydable.»

La récupération de la chaleur se fait souvent à propos de procédés ne touchant pas directement à la transformation des aliments; elle ne pose donc pas de problèmes réels de contamination. Cependant, règle générale, si l'échangeur de chaleur doit entrer en contact avec de l'eau potable ou un produit alimentaire, il doit être fait d'un matériau non absorbant, qui résiste à la corrosion, qui puisse être désinfecté et nettoyé très souvent, mais qui ne puisse pas contaminer l'eau ou les aliments, ou leur transmettre des substances toxiques, des odeurs ou des goûts (Code d'usages — Principes généraux d'hygiène alimentaire, Commission du *Codex Alimentarius*).

PROFILS DE LA QUANTITÉ DE CHALEUR RÉCUPÉRABLE PAR SECTEUR INDUSTRIEL

La quantité de chaleur perdue dans une usine varie largement d'un secteur à l'autre dans l'industrie alimentaire, en raison des divers procédés employés et des besoins énergétiques variables.

Il existe également d'importantes différences dans les quantités de chaleur perdue d'une usine à l'autre dans un même secteur. Les écarts sont imputables à des facteurs comme la concentration du produit, le fonctionnement en continu ou par lots, la taille et l'emplacement de l'usine. La quantité réelle de chaleur perdue, potentiellement utilisable, ne peut être déterminée que par une étude approfondie de la situation énergétique de l'usine.

Cependant, il y a des possibilités de récupération de la chaleur perdue propres à tous les secteurs. Ces possibilités sont décrites brièvement ci-dessous.

Viandes rouges

La quantité de chaleur perdue dépend beaucoup du type d'usines de transformation. Dans les abattoirs, une grande partie de l'énergie est utilisée pour la réfrigération des carcasses. Lorsqu'on y transforme des sous-produits, la fonte du gras consomme également beaucoup d'énergie. Dans l'abattage des bovins, le nettoyage requiert également de grandes quantités d'eau chaude, tandis que dans l'abattage du porc, c'est l'élimination des soies qui consomme une grande quantité d'énergie.

La récupération du courant caloporteur des condenseurs de réfrigération et des séchoirs de sous-produits est assez facile tandis que celle des cuiseurs de fondoirs est plus difficile à cause des matières grasses contenues dans les gaz d'échappement du cuiseur. La chaleur récupérée peut servir au chauffage de l'eau de nettoyage, au préchauffage de l'eau d'alimentation des chaudières ou au préchauffage de l'air d'admission des séchoirs.

Le brûlage des soies de porc procure une source de chaleur importante, car plus de 90 % de l'énergie est rejetée dans l'atmosphère. Cette chaleur perdue peut remplacer une part importante de l'énergie requise pour l'échaudage et l'élimination des soies. Il est également possible de récupérer l'énergie entraînée dans le trop-plein d'eau des échaudoirs de porc.

La transformation des viandes requiert le fonctionnement de nombreux appareils (cuisson, fumage, refroidissement, etc.) et consomme généralement plus intensivement l'énergie que les opérations d'abattage. La réfrigération consomme également des quantités importantes d'énergie. Les sources de chaleur perdue récupérable incluent l'énergie dégagée par les condenseurs, les eaux chaudes usées ainsi que les gaz d'échappement des appareils de cuisson et de fumage.

Volaille

Dans les usines de transformation de la volaille, le chauffage et le refroidissement, deux opérations reliées à l'échaudage et au refroidissement des carcasses, requièrent de grandes quantités d'énergie. Ces deux procédés fonctionnent en maintenant un trop-plein continuel et occasionnent, par conséquent, de grandes pertes d'énergie. Cependant, il est possible de récupérer la chaleur (ou capacité de refroidissement), à partir du trop-plein des échaudoirs (ou des refroidisseurs), et de renvoyer cette énergie aux échaudoirs (ou aux refroidisseurs). Il y a également une quantité importante d'énergie perdue dans la congélation des carcasses. On peut récupérer la chaleur libérée par les condenseurs de réfrigération et l'utiliser pour préchauffer l'eau des chaudières ou l'eau de nettoyage.

Fruits et légumes (congélation et appertisation)

Bien que la proportion d'énergie perdue ne diffère pas beaucoup entre les usines de congélation et les conserveries, l'origine des pertes varie. Dans les usines de congélation, les pertes de chaleur sont principalement attribuables aux condenseurs des installations de réfrigération. La chaleur se retrouve dans le fluide frigorigène et peut facilement être récupérée. Les eaux usées représentent une deuxième source; cependant, la chaleur qu'elles contiennent est de faible qualité et les substances solides en suspension peuvent causer des problèmes d'encrassement dans les échangeurs thermiques. Certains courants caloporteurs peuvent présenter un certain potentiel de récupération s'ils sont interceptés avant de se mélanger au courant principal.

Dans les conserveries, les évents des autoclaves et les eaux usées sont les principales sources de perte de chaleur. La chaleur provenant des autoclaves peut être récupérée, à condition qu'aucune contrepression ne soit appliquée aux évents, car l'écoulement libre de la vapeur est essentiel durant la ventilation si on veut que le traitement thermique des conserves soit adéquat.

L'utilisation de la chaleur perdue lors de la mise en conserve peut s'effectuer en de nombreux points de l'usine. Le chauffage de l'eau pour le nettoyage des boîtes et des produits, pour le nettoyage de l'usine et pour l'alimentation des chaudières fait partie de ces situations où il est possible d'utiliser la chaleur récupérée.

Produits laitiers

Les usines de transformation des produits laitiers consomment habituellement l'énergie de façon efficace. La chaleur acquise par le lait pendant sa pasteurisation sert normalement au réchauffement du lait qui entre dans le régénérateur. Une importante proportion de la chaleur perdue dans la transformation des produits laitiers provient des condenseurs de réfrigération. Celle-ci peut servir au réchauffage de l'eau de nettoyage, au préchauffage de l'eau d'alimentation des chaudières ou au réchauffage des réservoirs de levain, à certaines étapes de la transformation. Les effluents et les gaz d'échappement des séchoirs-atomiseurs représentent d'autres sources importantes de perte de chaleur. L'utilisation des effluents pour la récupération de la chaleur est restreinte en raison des impuretés qu'ils contiennent, mais les gaz d'échappement du séchoir peuvent servir au préchauffage de l'air qui l'alimente.

Biscuiteries et boulangeries

Les gaz d'échappement provenant des fours, des friteuses, des laveuses de vaisselles et des chaudières constituent les principales sources de perte de chaleur. On peut produire, à partir de ces sources, de l'eau chaude pour le nettoyage de l'usine et des moules. On peut également récupérer la chaleur de moins bonne qualité provenant de l'échappement des fours pour des opérations qui ne demandent pas une température élevée (imperméabilisation, fermentation).

Oeufs

Comme dans l'industrie des produits laitiers, la chaleur acquise par les ovoproduits pendant la pasteurisation est transmise aux produits d'oeuf froids qui pénètrent dans le régénérateur. Les principales sources de perte de chaleur sont généralement attribuables au type de produit fabriqué, mais il s'agit généralement des installations de réfrigération, des effluents qui proviennent du lavage des oeufs et de l'air d'évacuation provenant des séchoirs.

Les applications comprennent le préchauffage de l'eau d'alimentation des chaudières, le chauffage de l'eau de lavage des oeufs et de l'eau de nettoyage de l'usine, et le préchauffage de l'air d'admission des séchoirs.

ANALYSE FINANCIÈRE DES INVESTISSEMENTS EN MATÉRIEL DE RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR

L'étude technique du matériel et des diverses possibilités qui s'offrent à lui permet au transformateur d'aliments d'évaluer la faisabilité de la récupération de la chaleur et de choisir les appareils les mieux adaptés, compte tenu de sa situation. La décision importante que ce fabricant doit maintenant prendre est de savoir si l'adoption de ce procédé est possible financièrement et, si oui, quel est le meilleur appareil.

Évaluer financièrement le projet revient à déterminer s'il fera économiser de l'argent à l'entreprise et s'il augmentera ses profits. Le système de récupération de la chaleur devrait faire économiser de l'argent au coût actuel de l'énergie, et toute augmentation de ce coût ne fait qu'augmenter le rendement financier de l'entreprise. La faisabilité technique d'un investissement ne le rend pas obligatoirement viable du point de vue financier. Plusieurs facteurs peuvent multiplier ou au contraire ruiner les chances qu'un investissement tel que l'installation d'un échangeur thermique voie le jour. Ces facteurs ne sont pas immuables et, parmi eux, on retrouve le coût actuel et futur de l'énergie, les taux d'intérêt, le rendement potentiel du matériel, le coût en capitaux, le coût de l'entretien, les impondérables de la technologie, l'incidence fiscale du projet, les programmes existants d'aide et d'encouragement, et les effet secondaires du projet, sur la pollution de l'environnement, par exemple.

L'analyse financière sert à évaluer toutes ces questions. Elle met en rapport les études de faisabilité et les critères financiers qui entrent en jeu dans les prises de décision.

L'analyse financière doit être menée de façon à permettre aux décideurs d'évaluer les conséquences, sur leurs décisions, de tout changement survenant dans la situation. L'analyse doit donc énoncer clairement tous les éléments qu'elle a examinés (coûts, prix, taux d'actualisation, etc.) de telle sorte qu'elle puisse être refaite sans trop de remaniements et que la sensibilité des conclusions puisse être éprouvée dans un contexte différent ou à la lumière de nouvelle hypothèses.

Une analyse financière, ou économique, correcte demande la quantification en dollars de tous les coûts,

économies et profits entraînés par le projet et répartis sur toute sa durée réelle. Puisque tout investissement en matériel, susceptible d'entraîner des économies durant plusieurs années à venir, comporte une certaine valeur de renonciation, toutes les entrées et sorties de fonds découlant du projet doivent être exprimées en valeurs actualisées pour permettre une comparaison réelle des différentes options financières. Le taux d'actualisation est le taux de rendement qu'auraient les fonds engagés dans un projet s'ils étaient affectés à un autre investissement. Sont considérés comme autres investissements les soldes bancaires, les actions, les obligations, tout autre matériel de production, toute campagne de mise en marché. Actualiser les flux monétaires permet d'adopter une seule période de référence : le présent.

On ne doit pas tenir compte de l'inflation ou alors on doit majorer tous les montants du taux d'inflation. Il est préférable de ne pas recourir à cette dernière méthode pour deux raisons : d'une part, les taux d'inflation futurs sont difficiles à prévoir et, d'autre part, les conséquences de l'inflation sur des montants actualisés, calculées à l'aide d'un taux réaliste, sont nulles sauf dans le cas de postes qui connaissent un taux d'inflation particulier. Si l'on pense que le coût réel de l'énergie, ou tout autre coût, connaîtra une hausse plus rapide que les autres coûts, cette différence dans les taux d'augmentation doit se retrouver dans l'analyse financière, soit comme taux d'inflation, soit comme taux d'augmentation réelle.

Quand l'analyse porte sur des valeurs majorées du taux de l'inflation le facteur d'actualisation doit être le taux du marché qui inclut le taux d'inflation. Au contraire, si les valeurs ne sont pas majorées du taux de l'inflation, l'actualisation doit se calculer selon le taux d'emprunt ou le taux de rendement désiré par l'entreprise, duquel on déduit le taux d'inflation actuel.

Les étapes de l'analyse financière

L'analyse financière, ou l'analyse économique des coûts et rendements, comporte les étapes suivantes :

1° Évaluation des procédés et de l'équipement du point de vue technologique, et choix de différentes méthodes permettant de réaliser des économies;

2° Évaluation des obstacles à la réalisation des différents objectifs;

3° Définition et évaluation précise des profits ou des économies à réaliser, par exemple :

— l'économie de combustible dans le procédé de génération de l'énergie perdue;
— l'économie de combustible dans le procédé récepteur de l'énergie récupérée;
— la réduction des frais d'évacuation de l'énergie perdue;
— la réduction du coût de la main-d'oeuvre;
— les changements au chapitre de la productivité;
— les modifications apportées à d'autres procédés;
— les améliorations apportées à l'environnement et à l'hygiène;
— la valeur-rebut de l'équipement;
— l'incidence fiscale;
— les avantages tirés des programmes d'aide et d'encouragement.

4° Définition et évaluation précise des coûts :

Dépenses et immobilisations :

— terrains et bâtiments,
— machinerie et équipement,
— études de conception et de génie,
— installation (incluant le coût pour la préparation du lieu d'installation),
— coût de mise en oeuvre,
— coût de remplacement de l'équipement.

Frais d'exploitation :

— main-d'oeuvre,
— matériaux et fourniture,
— entretien et réparation,
— coûts en énergie, associés à l'opération du système de récupération.

Incidence fiscale et autres coûts, comme un accroissement des frais généraux ou d'administration.

5° Disposition en tableaux de tous les coûts et rendements pour la période étudiée; calcul et disposition en tableaux de la valeur actuelle de chaque élément.

6° Présentation claire de tous les coûts et rendements (après en avoir fait une évaluation précise) de façon à ce qu'on puisse comprendre facilement les données et les hypothèses qui ont servi à les calculer.

On peut alors évaluer les différentes possibilités et les comparer entre elles ainsi qu'aux critères d'investissement fondamentaux de la société.

Toute évaluation approfondie d'un investissement à caractère technologique doit être accompagné d'une disposition en tableaux de tous les coûts, les prix, les revenus, les bénéfices, les économies, etc., ainsi que des hypothèses à partir desquelles ces chiffres sont calculés. On effectue alors une analyse de sensibilité, en modifiant les hypothèses, afin de déterminer les effets qu'elles ont, individuellement et collectivement, sur les conclusions. On peut ainsi évaluer les incertitudes reliées au projet.

Cette analyse de sensibilité des hypothèses, à laquelle s'ajoute une évaluation des critères d'investissement, des flux monétaires ainsi que des moments où ils sont disponibles, permet de prendre une décision avisée concernant les investissements en matière de technologie nouvelle. Lorsque les évaluations des aspects technologiques sont bien faites et bien présentées, il est facile d'établir des comparaisons entre les différentes possibilités d'investissement. En étant mieux renseignés sur la rentabilité des nouvelles technologies en matière de conservation de l'énergie, les décideurs seront mieux à même de les comparer aux autres possibilités d'investissement qui s'offrent à eux. Ainsi, si les conditions d'investissement changent, les priorités d'investissement seront modifiées en conséquence.

ÉTUDES DE CAS

Des études de cas sont présentées dans les pages suivantes afin d'illustrer les bénéfices réalisés par des industries de transformation alimentaire qui ont fait l'installation de systèmes pour récupérer la chaleur. L'étude de cas n° 1 comporte un exemple d'analyse technique et financière détaillée.

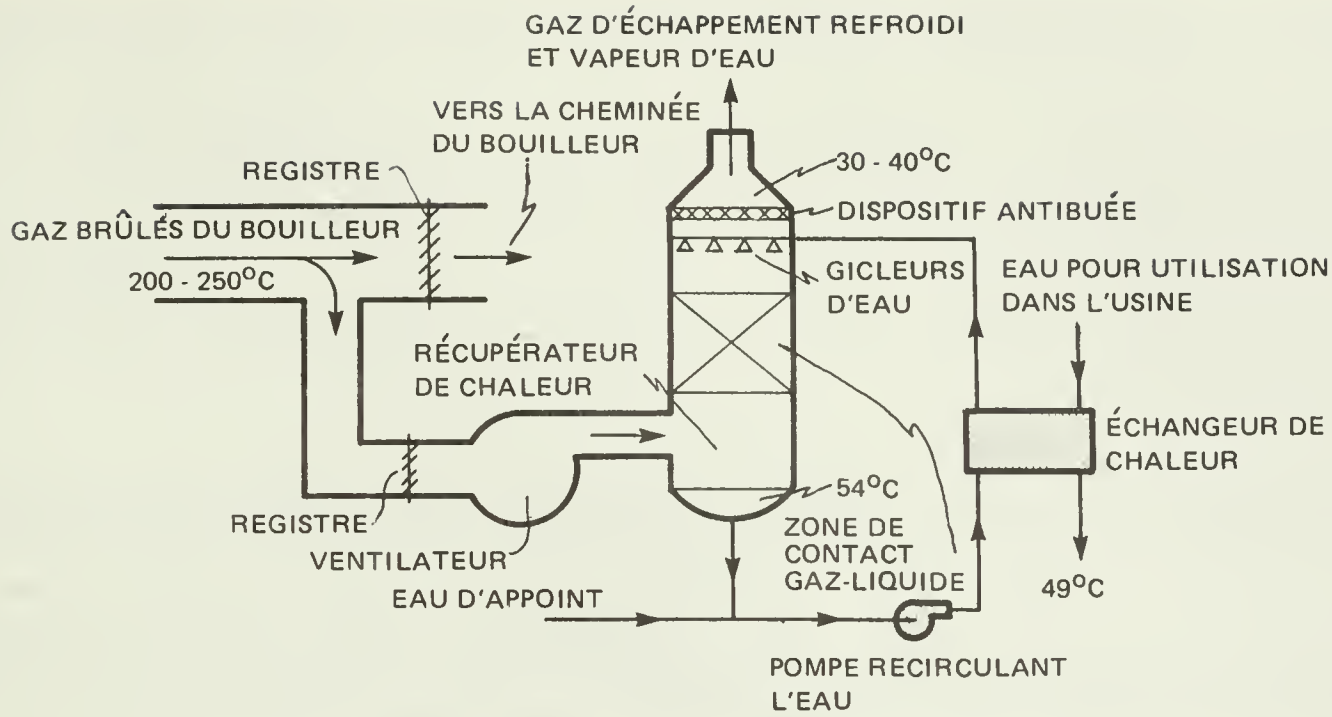
Étude de cas n° 1 — Cuiseurs de fondoirs

Dans l'industrie de la transformation des viandes, les cuiseurs de fondoirs sont un exemple représentatif des occasions de récupérer la chaleur, principalement à cause de leur haute température et du volume important de vapeur qu'ils produisent. La procédure traditionnellement employée était de faire passer la vapeur du cuiseur dans un condenseur de type pulvérisateur, qui utilisait l'effluent de l'usine comme agent de condensation. Au cours de la condensation, toute la chaleur latente et une partie de la chaleur sensible contenues dans la vapeur étaient transférées à l'agent de condensation. On faisait ainsi passer l'effluent réchauffé dans un puits, d'où elle était pompée vers l'échangeur thermique qui servait à préchauffer de l'eau.

Un système apparenté à celui que nous venons de décrire a été installé dans une usine de transformation des viandes. Malheureusement, l'opération a été un échec, l'échangeur thermique s'étant encrassé rapidement. L'encrassement était imputable à la présence de graisse et d'autres déchets dans l'effluent utilisé comme agent de condensation. Ce moyen de récupérer la chaleur a été abandonné, parce qu'il nécessitait des nettoyages fréquents et coûteux des tubes de l'échangeur. Outre ses problèmes d'encrassement, le système avait aussi des carences quant à l'efficacité car en condensant la vapeur avant de la faire passer dans l'échangeur thermique, il transformait une source de chaleur de haute qualité en chaleur de qualité inférieure. La décharge du condenseur était en effet rarement plus chaude que 60 °C au moment où elle atteignait l'échangeur thermique. Il aurait été bien préférable de récupérer la chaleur à partir de la vapeur saturée à une pression manométrique de 101,3 kPa plutôt qu'à partir d'une eau à 60 °C.

Un fondoir a récemment installé un système de préchauffage de l'eau potable, qui récupère la chaleur à partir de la vapeur s'échappant de quatre cuiseurs du fondoir. Chaque cuiseur sous pression, d'une capacité de 3630 kg, laisse échapper 2105 kg de vapeur au cours du processus de cuisson de 2,4 heures. La demande moyenne d'eau chaude à 93 °C, à des fins de production et d'hygiène au cours de la période de production, est de 480 L/min.

On récupère la chaleur en faisant passer la vapeur à pression atmosphérique dans un échangeur thermique qui la condense. La vapeur s'échappant de chaque cuiseur est amenée par des conduites jusqu'à un distributeur qui est raccordé à un réservoir capable de contenir la charge entière d'un cuiseur. L'échangeur thermique choisi, un échangeur à spirales, favorise une turbulence élevée du milieu; il est facile à inspecter et à nettoyer, et il permet de sous-refroidir la vapeur à 57 °C. On peut ainsi récupérer une partie de la chaleur sensible. La vapeur excédentaire est envoyée à deux des condenseurs du type pulvérisateur déjà installés.



15. Système de récupération des cuiseurs de fondoirs

Une analyse rigoureuse du système a cependant révélé la présence d'un léger déséquilibre entre les flux d'énergie, soit celui du procédé de la fonte, qui fournit la chaleur, et celui du système sanitaire qui la consomme. En effet, jusqu'à 16 heures, la demande d'eau chaude de l'usine dépasse la capacité de production de chaleur des cuiseurs. Après 16 heures, il y a par contre un excédent de chaleur. Pour remédier à cette situation, on a conservé un système ordinaire de chauffage de l'eau, qui permet de combler le déficit, et on a installé un système de dérivation par lequel s'échappe la chaleur excédentaire quand on ne l'utilise pas.

Le travail relié au traitement de la vapeur des cuiseurs n'est pas modifié. Auparavant, il fallait accomplir certaines tâches pour faire fonctionner et nettoyer les condenseurs du type pulvérisateur, avant de faire passer l'eau et la chaleur récupérée directement dans le système principal. Or, le fonctionnement, l'entretien et le nettoyage de l'échangeur thermique à condensation de vapeur exigent en gros la même quantité de travail.

La chaleur récupérée n'étant pas utilisée dans le procédé de la fonte, le procédé de récupération de la chaleur n'entraîne donc aucune économie de carburant à ce stade.

La chaleur récupérée doit servir à chauffer l'eau utilisée dans le système sanitaire et dans d'autres procédés de production. L'économie réalisée correspond donc à la quantité de combustible qu'on aurait normalement consommée pour chauffer l'eau, qui est actuellement chauffée avec la chaleur récupérée à partir des cuiseurs de fondoirs.

Au moment de la mise en marche des cuiseurs, de 7 h 30 à 9 h, la demande moyenne équivalente d'eau chaude dépasse le taux d'échappement de la vapeur. L'économie de combustible correspond alors simplement à la quantité totale de chaleur récupérable pendant cette période. On a calculé une économie en gaz naturel équivalente à 54 425 m^3 par an, ce qui représente une économie annuelle de 4245 $.

Au cours de la période de fonctionnement maximal du fondoir, de 9 h à 16 h, la demande équivalente d'eau chaude dépasse le taux d'échappement de la vapeur. L'économie de combustible correspond alors simplement à la quantité totale de chaleur récupérable, soit, après calcul, à une économie en gaz naturel équivalente à 507 970 m^3 par année, pour une économie annuelle de 39 621 $.

Au cours de la période de nettoyage de l'usine, entre 16 h et 20 h, la quantité de vapeur s'échappant du fondoir dépasse la quantité d'énergie exigée pour le chauffage de l'eau. On calcule alors les économies en se basant sur l'énergie thermique qu'il faut pour élever la température de 91 L/min d'eau de 13 °C à 93 °C. La demande n'est pas assez forte alors pour qu'on récupère par sous-refroidissement la chaleur sensible. Après calcul, on estime qu'une économie de 4847 $/an est réalisée, correspondant à 62 150 m^3 de gaz naturel.

Les économies de gaz naturel qu'on vient de calculer s'élèvent donc à un total de 624 545 m^3/an, ce qui correspond à une réduction des dépenses de 49 053 $/an.

Le calcul de la période de récupération simple est une méthode couramment utilisée pour évaluer l'à-propos d'un investissement. Il s'agit de la période de temps sur laquelle s'étend la récupération de l'investissement

original et au terme de laquelle les rendements au comptant et les coûts au comptant s'annulent. Cet outil de mesure simple permet de décider s'il faut effectuer ou non une analyse plus détaillée de la situation. Cette méthode a cependant l'inconvénient de ne pas tenir compte de certaines informations importantes dont les variations du flux monétaire. Ces variations fonctionnelles et financières sont les avantages fiscaux au cours des premières années de fonctionnement, l'entretien, la réparation ou le remplacement de l'équipement, les modifications du prix réel et les coûts exceptionnels au cours de années ultérieures, ainsi que l'importance du taux d'intérêt dans l'actualisation des coûts et des rendements futurs. Ainsi, la période de récupération simple de l'échangeur thermique à spirales, installé à un coût de 124 290 $ dans le cas que l'on vient d'étudier est de 2,5 ans $\left(\frac{124\ 290\ \$}{49\ 053\ \$/\text{an}}\right)$. On trouvera dans les paragraphes qui suivent une analyse financière plus approfondie de la question.

Le Tableau 1 illustre les différentes méthodes d'analyse financière du cas n° 1. On présume que l'augmentation du prix du gaz naturel sera de 2 % supérieure à celle de tous les autres facteurs de coût ainsi que du taux général d'inflation. Ce chiffre correspond au taux de croissance réel estimé par Énergie, Mines et Ressources. On calcule donc l'économie annuelle de combustible en multipliant l'économie annuelle courante de combustible par la valeur du taux composé d'augmentation des prix. Si d'autres économies (de main-d'oeuvre et de matériaux, par exemple) étaient réalisées, elles auraient une valeur constante, dans la mesure, naturellement, où l'on présume qu'elles augmenteraient au même rythme que l'inflation. Il suffit d'additionner tous ces coûts pour obtenir les économies annuelles pour chaque année.

TABLEAU 1 Analyse financière de l'échangeur thermique à spirales (Étude de cas n° 1)

Année	Coût	Taux d'augmentation du prix réel (2 %)	Économies annuelles $ courants (49 053)	Facteur d'actualisation (10%)	Valeur actuelle économies annuelles	Valeur actuelle accumulée économies annuelles	Valeur nette économies-coûts
0	124 290 $						
1		1,0200	50 034	0,90909	45 486	45 485	–78 804
2		1,0404	51 035	0,82645	42 177	87 663	–36 627
3		1,0612	52 055	0,75131	39 110	126 773	2 483
4		1,0824	53 096	0,88301	36 266	163 039	38 749
5		1,1041	54 158	0,62092	33 628	196 667	72 377
6		1,1262	55 242	0,56447	31 182	227 849	103 559
7		1,1487	56 346	0,55316	28 915	256 764	132 474
8		1,1717	57 473	0,46651	26 812	283 576	159 286
9		1,1951	58 623	0,42410	24 862	308 438	184 148
10		1,2190	59 795	0,38554	23 054	331 491	207 201

Dans le cas n° 1, on utilise un taux d'intérêt réel de 10 % comme facteur d'actualisation, ce qui signifie que la société s'attend à un taux de rendement de 10 % de son investissement, déduction faite du taux d'inflation. Le facteur d'actualisation est calculé à partir de cette valeur à 10 %. Ce qui signifie, par exemple, que 0,75 $ économisé aujourd'hui vaudra 1 $ dans 3 ans compte tenu de l'accumulation des intérêts composés. On multiplie le facteur d'actualisation par les économies annuelles totales de chaque année (dans le cas présent, elles se résument au gaz naturel épargné) afin d'obtenir la valeur actuelle de l'économie réalisée pour l'année. On soustrait de ce chiffre la valeur actuelle des coûts, ce qui donne la valeur actuelle nette des économies pour chaque année. Dans le cas présent, les seuls coûts sont les dépenses en immobilisations initiales. On présume que la valeur-rebut nette de l'équipement est nulle. On ne prévoit pas non plus d'autre dépense (immobilisations, etc.) pendant la vie du projet.

La valeur nette actuelle du projet est de 207 201 $ en utilisant un facteur d'actualisation de 10 %, en évaluant la durée de vie du projet à 10 ans, et en attachant aux prix du gaz naturel un taux d'augmentation de 2 % supérieur au taux de l'inflation.

Pour qu'on puisse s'engager dans un projet, il faut que la valeur actuelle nette soit positive, ce qui indique que l'investissement générera un profit, compte tenu de l'exactitude des hypothèses à partir desquelles on a calculé la valeur du projet.

Les différentes valeurs obtenues permettent de calculer le rapport coûts-rendements (C/R). Dans le cas n° 1, le rapport C/R est le suivant :

$$C/R = \frac{331\ 490\ \$}{124\ 290\ \$} = 2{,}66$$

Pour qu'un investissement soit financièrement viable, la valeur du rapport coûts/rendements doit être supérieure à 1.

Comme nous l'avons vu précédemment, la période de récupération correspond à la période de temps nécessaire pour que la valeur actuelle nette des rendements et la valeur actuelle nette des coûts s'annulent. Le Tableau 1 nous montre que cette période s'étend presque jusqu'à la fin de la troisième année (2,9 ans).

Nombre de sociétés se fixent, entre autres, un des deux critères d'investissement suivants : tous les investissements doivent être récupérés sur une période de temps précise ou dépasser un taux de rendement interne précis. Si les projets étudiés ne rencontrent pas ces critères, ils sont rejetés.

Étude de cas n° 2 — Gaz de combustion

Canada Packers a récemment installé un modèle nouveau et très efficace d'échangeur thermique dans son usine de Winnipeg.

On utilise un récupérateur de chaleur à contact direct pour récupérer la chaleur à partir des gaz de combustion de l'usine. Les gaz de combustion remontent dans le récupérateur, dans lequel on pulvérise de l'eau. Cette eau est recirculée avec une quantité infime d'eau d'appoint. Dans les meilleures conditions, l'eau qui sort du récupérateur a été chauffée à 54 °C. Les gaz de combustion sont quant à eux refroidis de 215 °C à 30-40 °C. On a prévu des registres qui dirigeront les gaz de combustion vers une cheminée principale, s'il se produit une panne du système.

L'eau de recirculation s'écoule à travers un échangeur thermique à plateaux, après quoi elle retourne au récupérateur. L'eau qui sert à la transformation, propre et froide, est préchauffée jusqu'à 50 °C dans l'échangeur; elle peut être chauffée davantage au moyen de vapeur et être utilisée pour des besoins d'eau très chaude dans l'usine.

Le Tableau 2 présente l'analyse financière de cette étude de cas.

TABLEAU 2 Analyse financière (Étude de cas n° 2)

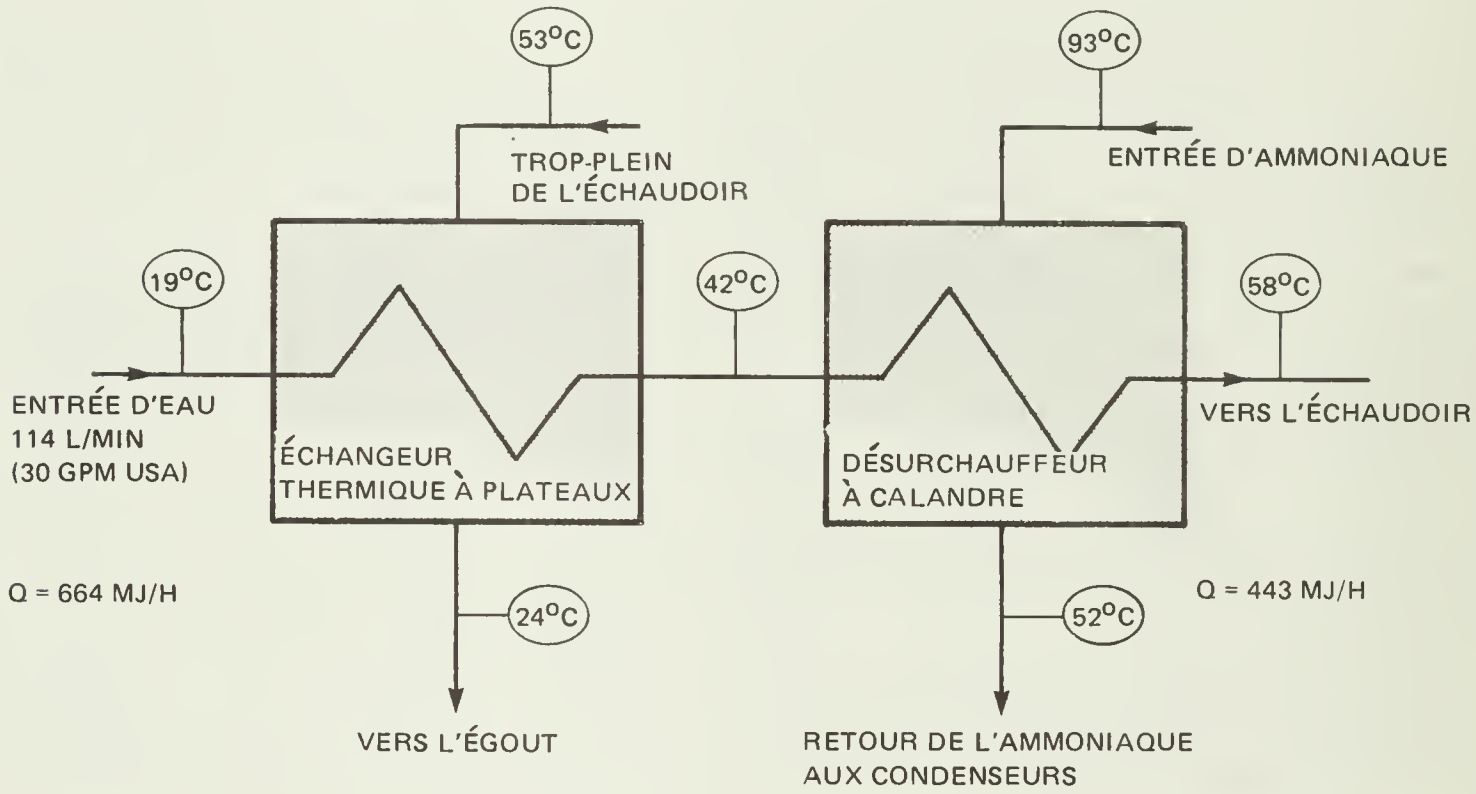
Coût du projet	
Récupérateur et dispositifs de commande	225 000 $
Installation et frais connexes	175 275 $
Coût total, installation comprise	400 275 $
Frais d'exploitation	
Coût annuel du combustible avant démonstration (consommation annuelle de gaz naturel : $9{,}8 \times 10^6$ m^3 @ 152 \$/10^3 m^3)	1 489 600 $
Coût annuel du combustible après démonstration ($8{,}625 \times 10^6$ m^3 @ 152 \$/10^3 m^3)	1 311 000 $
Économie annuelle du combustible après démonstration ($1{,}175 \times 10^6$ m^3 @ 152 \$/10^3 m^3)	178 600 $
Coûts marginaux annuels s'ajoutant par augmentation (services publics et entretien)	27 900 $
Économie annuelle nette	150 700 $
Période de remboursement simple	2,7 ans

Étude de cas n° 3 — Désurchauffeur et échaudoir — Transformation de la volaille

Le cas de la société Gold Kist Inc., d'Elligay en Ceorgie (É.-U.), qui se spécialise dans la transformation de la volaille, est l'illustration d'une application intéressante. De concert avec le Ministère de l'Énergie des États-Unis et l'Institute of Technology de Georgie, cette société a mis sur pied un projet comportant la conception, l'installation et le contrôle d'un système récupérant la chaleur à partir du trop-plein des échaudoirs (eau résiduaire chauffée) et d'un condenseur du système de réfrigération utilisant de l'ammoniaque comme réfrigérant.

Pour des raisons d'hygiène, le réservoir d'échaudage dans lequel sont immergées les carcasses de volaille doit constamment déborder. Le trop-plein, dont la température est de 53 °C, s'écoule à un rythme variant entre 76 L/min et 113 L/min, et contient un taux élevé de matières en suspension. Afin d'éviter l'encrassement de l'échangeur thermique, on fait cascader le trop-plein au-dessus d'une surface filtrante parabolique. L'échangeur thermique choisi est un échangeur à plateaux constitué de plateaux en acier inoxydable. On l'a choisi en raison de sa compacité, de son coefficient élevé de transfert de chaleur et de sa facilité de nettoyage.

La température de l'ammoniaque, à l'entrée des condenseurs vaporisateurs, varie entre 93 °C et 105 °C; le débit varie entre 3500 kg/h et 3850 kg/h. On a choisi, pour le désurchauffeur, un échangeur thermique à calandre, avec de l'ammoniaque chaude s'écoulant dans les tubes.



16. Schéma des systèmes de récupération des échaudoirs de volaille et du désurchauffeur

Le trop-plein d'eau usée provenant de l'échaudoir est filtré puis canalisé à travers l'échangeur thermique à plateaux. Circulant à contre-courant dans l'échangeur, l'eau potable de l'usine (à 19 °C), est préchauffée afin de servir comme appoint pour l'échaudoir. Cette eau d'appoint est ensuite dirigée vers le désurchauffeur, où sa température est élevée de 42 °C à 58 °C par l'ammoniaque qui coule à contre-courant. L'eau d'appoint est ensuite acheminée vers le réservoir de l'échaudoir. Le schéma qui suit illustre le rendement des systèmes de récupération de la chaleur. On pourrait obtenir un rendement encore plus élevé en installant un réservoir d'eau chaude et une pompe de recirculation, lesquels permettraient d'utiliser ou d'emmagasiner en tout temps, et non pas seulement lorsque les échaudoirs fonctionnent, la chaleur provenant des condenseurs d'ammoniaque.

Dans les usines de transformation des aliments, on doit à tout prix éviter la contamination de l'eau potable servant à la transformation. C'est pourquoi on a spécifié que l'échangeur thermique du trop-plein de l'échaudoir doive être équipé d'un système de détection de la pression différentielle, qui mette hors circuit la pompe électrique d'eau usée, lorsque la pression de cette eau dépasse la pression de l'eau potable. On a également installé un système de vérification et de contrôle permanent du pH dans le collecteur d'eau relié au désurchauffeur d'ammoniaque: ce système permet de détecter toute fuite d'ammoniaque dans l'eau potable.

Les chercheurs ont calculé, à partir d'une analyse des coûts réels de fonctionnement, la temps de remboursement du capital d'un tel système (voir le Tableau 3).

TABLEAU 3 Analyse financière (Étude de cas n° 3)

Système	Économies d'énergie (MJ/h)	Dépenses en immobilisations ($)	Économie d'énergie ($)	Période de remboursement du capital (années)
Système de récupération du trop-plein de l'échaudoir	664	13 287	16 921	0,78
Système de récupération des condenseurs	443	29 038	11 515	2,5
Systèmes combinés	1107	42 325	28 436	1,5

Étude de cas n° 4 — Brûleur des soies — Abattoir porcin

On accorde de plus en plus d'importance aux questions énergétiques dans l'industrie agro-alimentaire. À ce chapitre, on cite fréquemment le procédé du brûlage des soies, dans l'industrie de l'abattage du porc, comme étant l'une des opérations où se produisent les plus grandes pertes d'énergie. En temps normal, l'énergie thermique produite par le rideau de flammes ne sert qu'à brûler les soies des carcasses de porcs qu'on fait passer au travers. L'énergie excédentaire fait donc régner dans cette partie de l'usine une chaleur torride.

Préoccupée par cette situation, la direction de l'abattoir Olivier Bienvenue, de Saint-Valérien (Québec), a eu recours aux services de la société Sonairtech, Inc. Cette société a conçu un système intégré à l'usine, qui permet non seulement de produire, avec la chaleur récupérée, l'eau chaude nécessaire aux diverses opérations d'abattage, mais aussi de satisfaire, dans une certaine mesure, aux besoins de climatisation de l'usine. Une brève description du système suit :

1° Récupération air/eau

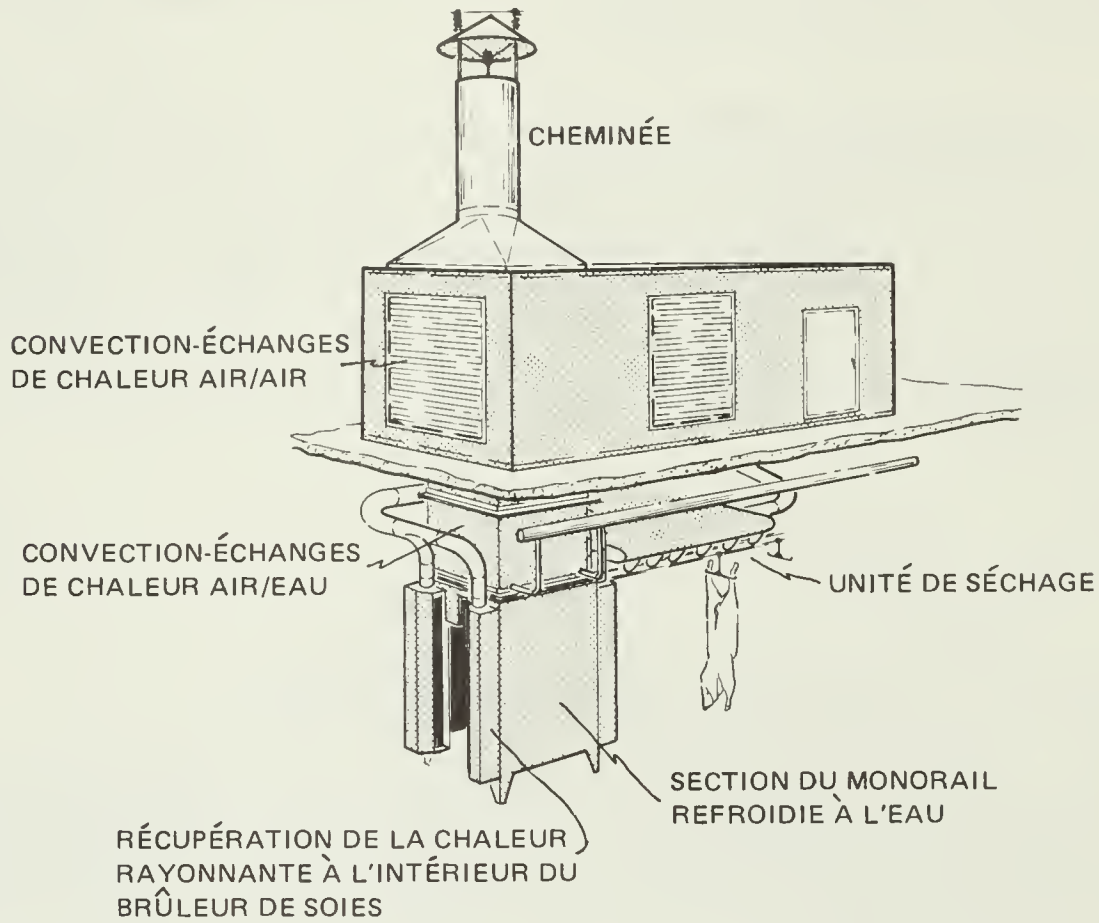
Deux modules assurent une récupération efficace de la chaleur :

(a) Des unités ont été installées sur les deux parois intérieures de la structure du brûleur pour récupérer la chaleur radiante;
(b) Une unité de récupération air/eau (échangeur à tubes à ailettes) a été installée au dessus du brûleur. Les gaz chauds circulent à travers l'unité qui récupère une grande partie de la chaleur qu'ils contiennent.

En hiver, on fait circuler directement dans ces unités de récupération l'eau froide en provenance du réservoir de stockage, ce qui lui permet d'atteindre, à la sortie une température moyenne de 60 °C. On emploie cette eau chaude dans les opérations d'abattage. En été, par contre, on dirige d'abord l'eau vers le serpentin installé dans la conduite principale du système de ventilation qui sert à la climatisation de l'air d'entrée. L'eau, ayant ainsi gagné quelques degrés, est ensuite dirigée vers les deux unités de récupération.

2° Récupération air/air

On a installé un module de récupération air/air, constitué d'un faisceau de tubes, au-dessus de l'échangeur air/eau. Cette unité permet, en récupérant un partie de l'énergie résiduelle des gaz, de réchauffer l'air venant de l'extérieur pendant les périodes froides. On peut ainsi diriger cet air réchauffé vers le plancher de l'abattoir de façon à y maintenir une température confortable pendant la saison froide.



17. Système de récupération du brûleur des soies de porc

Il est à noter que ce système, très souple, peut être adapté pour chauffer l'eau à 60 °C, à 80 °C ou à toute autre température; il suffit alors de contrôler l'arrivée de l'eau dans l'échangeur, ce qui va, bien entendu affecter le volume d'eau chaude obtenue.

Étude de cas n° 5 — Transformation des fruits et légumes

La société Green Giant du Canada Limitée a étudié et installé un certain nombre d'échangeurs thermiques dans divers secteurs de ses usines de transformation des fruits et légumes. Au nombre des projets réalisés figurent les suivants :

a) L'installation d'un échangeur à calandre qui a coûté 3200 $ (installation comprise) et qui sert à récupérer la chaleur de l'évacuation des chaudières. Le système permet une économie annuelle de 1573 $. Ceci représente donc une période de remboursement simple d'environ 2 ans.

b) La chaleur des condenseurs vaporisateurs, partie intégrante du système de réfrigération d'un entrepôt frigorifique, est récupérée pour combler des besoins en chauffage de l'air. Pour adapter les condenseurs vaporisateurs à des fins de chauffage, ce qui comprend la pose des conduites, l'isolation, les registres et l'entraînement mécanique modulateur, il a fallu débourser 10 400 $. Comme on économise ainsi 5200 $ de combustible par année, la période de remboursement simple de l'investissement est de 2 ans.

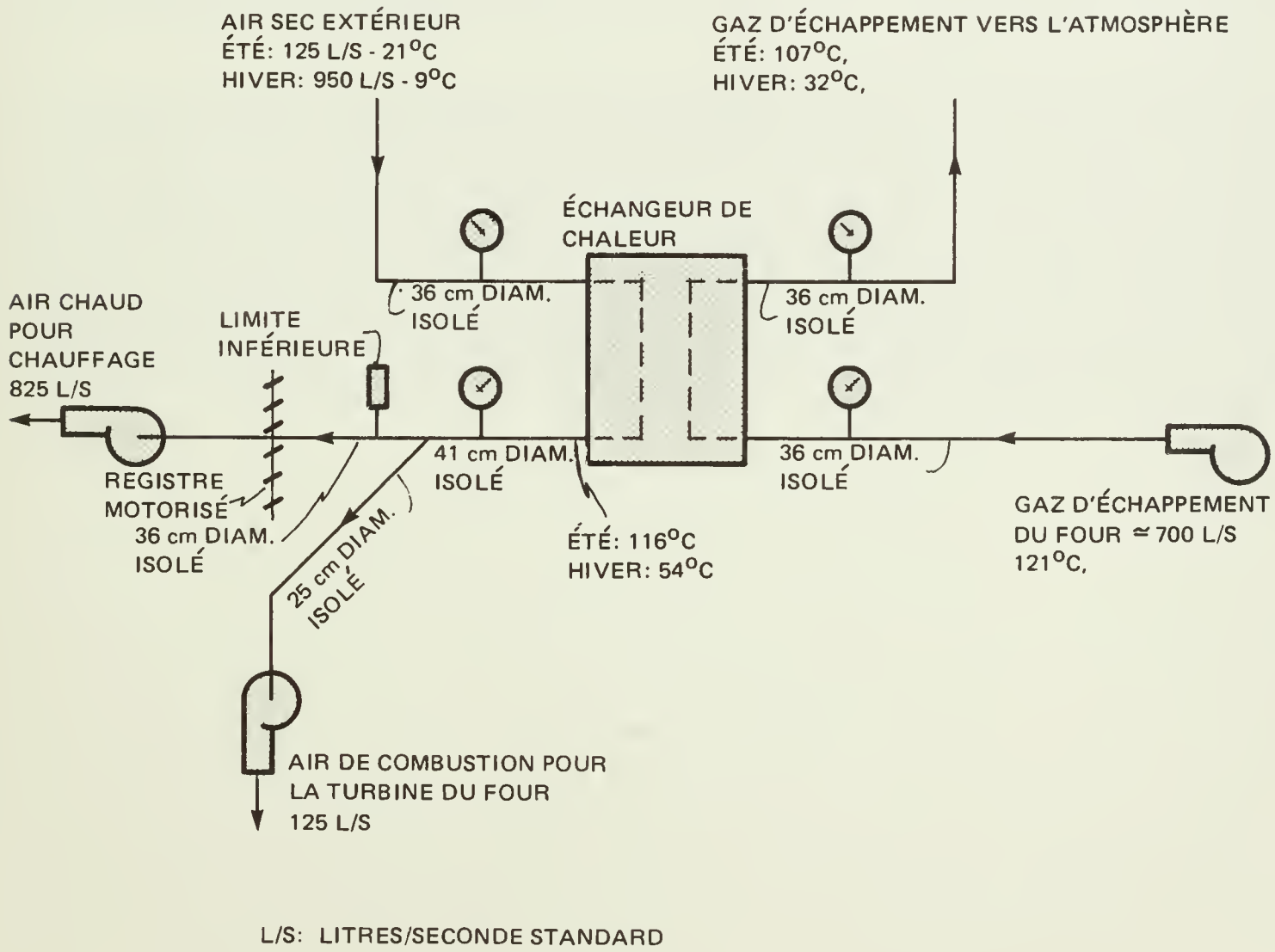
Ces projets illustrent à quel point les sommes relativement minimes, investies dans les échangeurs thermiques, peuvent être vite récupérées et permettent de réduire les coûts reliés aux activités qui consomment beaucoup d'énergie.

Étude de cas n° 6 — Four de boulangerie

Lorsqu'on a installé un nouveau four à la boulangerie Moderne & Roussin à Thetford Mines (Québec), on a décidé d'ajouter un échangeur, à échanges air/air sur le devant du tuyau d'échappement afin de récupérer la chaleur. Il s'agit d'un four à chauffe directe, qui peut cuire 4200 pains d'une livre par heure. Les 53 brûleurs "Tri-Zone" fonctionnent au propane.

L'échangeur thermique, de type Z-Air, a une capacité de 945 L/s. Les produits de combustion (N_2 + CO_2 + H_2O) entrent à une extrémité, au rythme de 700 L/s et à une température de 120 °C. Ils ressortent à une température variant entre 32 °C et 107 °C, selon le rythme d'admission et la température de l'air frais. En été, l'air frais de l'extérieur est admis à l'extrémité opposée de l'échangeur thermique au rythme de 125 L/s et est préchauffé à 116 °C avant de servir d'air de combustion pour la turbine et les brûleurs du four. En hiver, l'air frais de l'extérieur (dont la température est souvent inférieure à –18 °C) est admis dans l'échangeur au rythme de 950 L/s et est chauffé à une température d'au moins 54 °C; cet air sert à chauffer les locaux du service d'expédition. Un régulateur de température et un thermostat de limite minimale (installé dans la conduite) sont branchés en série et régissent le fonctionnement du ventilateur et du registre actionné par un moteur.

On récupère, pour l'air de combustion (été), $4{,}75 \times 10^4$ kJ/h d'énergie, et pour le chauffage d'hiver $2{,}3 \times 10^5$ kJ/h d'énergie. Des taux maximaux de récupération de plus de $3{,}2 \times 10^5$ kJ/h ont été atteints durant l'hiver. On a par ailleurs obtenu les résultats suivants en mesurant la consommation de propane à l'aide d'un compteur à gaz installé sur le four : 975 kJ/kg de pain lorsque l'échangeur thermique fonctionnait, et 1000 kJ/kg de pain, lorsqu'il était arrêté. Les tests effectués en rapport avec le taux de chauffage maximal des brûleurs n'ont pas révélé de différence mesurable du taux de chauffage, en présence et en l'absence d'un échangeur thermique.



18. Système de récupération des fours de boulangerie

Le prix de l'échangeur thermique est de 2300 $; si l'on ajoute la canalisation, le ventilateur, l'isolation et l'installation, le système coûte au total 5000 $. On a fini de l'installer en avril 1982. On estime les économies

de propane et de mazout à 2125 $ par année. La période de remboursement simple serait alors d'environ 2 ans ½, compte tenu d'une durée de fonctionnement de 50 heures par semaine. La société est très satisfaite du rendement de l'échangeur thermique après la première année de fonctionnement. Ajoutons aux avantages déjà mentionnés que l'air d'appoint permet de chasser l'humidité et la condensation sur les murs de l'édifice pendant l'hiver.

CONCLUSION

Les possibilités de récupération de la chaleur

Le rapport intitulé *Potentiel énergétique des groupements en cascade dans l'industrie canadienne*, rédigé par la firme Lalonde, Girouard, Letendre & Associés Limitée, pour le compte d'Énergie, Mines et Ressources Canada, révèle qu'en 1978 l'industrie de l'alimentation et des boissons a consommé 106 960 $\times$ 10^9 kJ, dont 22 475 $\times$ 10^9 kJ d'énergie thermique supérieure à 260 °C. Le rapport indique aussi que 12,5 % de l'énergie totale consommée par l'industrie de l'alimentation et des boissons pourrait pratiquement être récupérée grâce aux techniques actuelles de récupération de la chaleur. Il est à noter que ce rapport avait pour objet de déterminer le potentiel énergétique global des tous les flots de chaleur perdue par l'usine et non pas d'évaluer les possibilités de récupération de la chaleur à l'intérieur de l'usine. L'estimation que l'on a faite ne s'applique donc qu'à la chaleur récupérable utilisable à l'extérieur de l'usine qui la produit. Les possibilités de récupération de la chaleur, à l'intérieur même des usines, sont beaucoup plus considérables que ce qu'indique le rapport.

Les auteurs du rapport estiment que 25 % de l'énergie consommée par les usines peut théoriquement être récupérée à leur pourtour et que 12,5 % de l'énergie consommée peut pratiquement être récupérée grâce à la technologie conventionnelle.

En 1980, les achats de carburant et d'électricité de l'industrie des aliments et des boissons se sont élevés à 422 007 000 $. On peut donc évaluer à 52 750 000 $ l'énergie thermique qu'il est possible, en pratique, de récupérer aux limites de l'usine avec l'aide de la technologie existante. Si elle n'équivaut qu'à 0,19 % de la valeur des expéditions de marchandises, elle représente malgré tout 0,6 % des dépenses autres que les matériaux et les fournitures. Comme l'argent investi dans les échangeurs thermiques peut généralement être récupéré sur une période d'environ 2 ans, les profits augmentent substantiellement pendant la durée de vie de l'équipement. Étant donné les avantages considérables qu'on peut retirer de la récupération de l'énergie thermique à partir des courants caloporteurs dans l'industrie des aliments et des boissons, il importe d'évaluer au plus tôt les applications de la nouvelle technologie de récupération de la chaleur. Cette évaluation doit porter à la fois sur les aspects techniques et économiques de la question et permettre d'établir des comparaisons avec d'autres formes d'investissement.

LIBRARY / BIBLIOTHEQUE
AGRICULTURE CANADA OTTAWA K1A 0C5
3 9073 00030362 0